



Marina Rolim da Costa

Licenciada em Engenharia Agronómica

Alternativas aos plásticos de utilização única, foco em soluções comestíveis

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia
e Segurança Alimentar

Orientador: Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz
Fernando, Professora Associada, Faculdade de Ciências
e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Coorientador: João Diogo André Peça, Responsável
de Inovação e Desenvolvimento CFER- Center for Food
Education and Research.

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Paula Amaro de Castilho Duarte

Arguente: Mestre João Ricardo Afonso Pires

Vogal: Prof. Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz Fernando



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

2021

“Alternativas aos plásticos de utilização única, foco em soluções comestíveis” © Marina Rolim da Costa, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Dedico este trabalho ao meu pai (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família pelo apoio e incentivo em seguir os meus sonhos do outro lado do oceano.

Ao CFER Labs pela inspiração quanto ao tema e por todo o trabalho que vem sendo desenvolvido. Especialmente ao João Peça pela coorientação nesse projeto.

À orientadora, prof. Dra. Ana Luisa Fernando, por toda a paciência e incentivo.

Ao programa de mestrado da Universidade NOVA de Lisboa por todo aprendizado e excelente experiência. Aos colegas e amigos que fizeram parte dessa jornada.

Ao Benjamin pelo apoio incondicional.

À todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho. Obrigada!

RESUMO

Plásticos de origem fóssil são materiais extremamente versáteis e de baixo valor agregado. Por este motivo é utilizado nas mais diversas áreas, incluindo as embalagens para produtos alimentares, justificando a produção anual de 368 milhões de toneladas. Por ser um material resistente, e dependendo do tipo de plástico, estima-se que a degradação deste material pode levar até 500 anos, sendo os impactos ambientais causados por este material enormes. Na tentativa de minimizar estes problemas, tem havido nos últimos anos diversas iniciativas de carácter legislativo, de investigação e de carácter político (a nível europeu e nacional) e outros incentivos, para criar alternativas mais sustentáveis. Os plásticos de utilização única são de grande importância nessa temática devido ao curto período de uso e rápido descarte. Investigadores e empresas estão em busca de alternativas e algumas já são comercializadas como é o caso dos bioplásticos de ácido poliláctico (PLA), artigos feitos em papel, tecidos e outras alternativas que além de biodegradáveis e de carácter renovável, são comestíveis, como é o caso dos artigos fabricados a partir de subprodutos de algas, gelatinas e cereais. O objetivo deste trabalho incide nas alternativas aos plásticos de uso único, com foco nas alternativas comestíveis.

TERMOS CHAVE: BIOPLÁSTICOS, PLÁSTICOS COMESTÍVEIS, SOLUÇÕES MIMÉTICAS, SUSTENTABILIDADE.

ABSTRACT

Plastics of fossil origin are extremely versatile materials at low cost. For this reason, it is used in the most diverse areas, including food packaging, justifying the annual production of 368 million tons. As it is a resistant material, and depending on the type of plastic, it is estimated that the degradation of this material can take up to 500 years, and the environmental impacts caused by this material are enormous. In an attempt to minimize these problems, there have been in recent years several legislative, research and political (at European and national level) initiatives and other incentives, to create more sustainable alternatives. Single-use plastics are of great importance in this area due to their short period of use and quick disposal. Researchers and companies are looking for alternatives and some are already commercialized, such as polylactic acid bioplastics (PLA), articles made from paper, fabrics and other alternatives that, in addition to being biodegradable and renewable, are edible, as is the case of articles made from by-products of algae, gelatins and cereals. The objective of this work focuses on alternatives to single-use plastics, addressing on edible alternatives.

KEY WORDS: BIOPLASTICS, EDIBLE PLASTICS, MIMETIC SOLUTIONS, SUSTAINABILITY

Índice Geral

1	INTRODUÇÃO	1
2	PLÁSTICOS DE UTILIZAÇÃO ÚNICA: EFEITOS NO MEIO AMBIENTE	4
2.1	PLÁSTICOS DE UTILIZAÇÃO ÚNICA.....	4
2.2	EMBALAGENS	4
2.2.1	EMBALAGENS INTELIGENTES X EMBALAGENS ATIVAS	6
2.3	LEGISLAÇÃO	7
2.3.1	DIRETIVA EU 904/2019 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO 5 DE JUNHO 7	
2.3.2	LEI 76/2019 02 DE SETEMBRO DE 2019.....	8
2.3.3	DECRETO-LEI N 22-A/2021 17 DE MARÇO.....	10
2.4	ECONOMIA VERDE	10
2.5	EFEITO ESTUFA	12
2.6	GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS	14
3	ALTERNATIVAS NÃO COMESTÍVEIS AOS PLÁSTICOS DE UTILIZAÇÃO ÚNICA	18
3.1	BIOPLÁSTICOS	18
3.1.1	PLA.....	20
3.1.2	PHA	21
3.1.3	PBS.....	23
3.1.4	AMIDO TERMOPLÁSTICO	23
3.2	MADEIRA	24
3.3	PAPEL	24
3.4	TECIDOS.....	26
3.5	OLEAGINOSAS	27
3.6	ESTUDOS SOBRE EMBALAGENS INTELIGENTES EM BIOPLÁSTICOS.....	28
3.6.1	COUVE ROXA (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i>)	28
3.6.2	JABUTICABA (<i>Plinia cauliflora</i>).....	29
4	ALTERNATIVAS COMESTÍVEIS AOS PLÁSTICOS DE UTILIZAÇÃO ÚNICA	31
4.1	SUBPRODUTOS DE ALGAS	31

4.1.1	LOLIWARE	31
4.1.2	EVOWARE	32
4.1.3	NOTPLA.....	33
4.1.4	ESTUDOS	34
4.2	GELATINAS.....	36
4.2.1	SORBOS	36
4.2.2	ESTUDO: BIOPLÁSTICOS DE GELATINA/ PROTEÍNA DO SORO DO LEITE COMBINADA COM FARINHA DE BATATA: FABRICAÇÃO E AVALIAÇÃO	37
4.3	CEREAIS	38
4.3.1	BIOTREM.....	38
4.3.2	BAKEYS	39
4.3.3	CUPFFEE.....	40
4.3.4	CANÙ.....	41
5	ADITIVOS ALIMENTARES UTILIZADOS PARA A FABRICAÇÃO DE ALTERNATIVAS AOS PLÁSTICOS DE UTILIZAÇÃO ÚNICA	43
5.1	GLICEROL.....	43
5.2	ALGINATO DE SÓDIO (E-401), ÁGAR-ÁGAR (E-406), CARRAGENINA (E-407) E CARBOXIMETILCELULOSE (E-466).....	43
5.3	CLORETO DE CÁLCIO.....	45
5.4	CORANTES	45
5.4.1	ANTOCIANINA	45
6	CONCLUSÕES	47
7	BIBLIOGRAFIA.....	48
8	JURISPRUDÊNCIA.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Distribuição da procura de plásticos por segmento de mercado na Europa.....	2
Figura 2.1 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	11
Figura 2.2 - Emissão mundial de dióxido de carbono entre 2008 e 2018, por região (em milhões de toneladas métricas de dióxido de carbono).....	13
Figura 2.3 - Produção e captação de resíduos urbanos, em Portugal continental.....	16
Figura 3.1 - Classificação de plásticos convencionais e bioplásticos.....	19
Figura 3.2 - Protótipos de embalagens de PHBV.....	22
Figura 3.3 - Embalagem de papel para take away.....	25
Figura 3.4 - Demonstração de utilização de Wax Wrap.....	26
Figura 3.5 - A- Bioplásticos; B- Bioplásticos após degradação do filé de pescada à temperatura ambiente; C- Bioplástico sob refrigeração após 4 dias de teste.....	29
Figura 3.6 - Coloração do extrato de antocianina com a variação de pH (a); filme biodegradável desenvolvido com extrato de antocianina da casca de jabuticaba (b); coloração dos filmes submetidos a soluções com diferentes pH (c) e coloração dos filmes submetidos ao meio em deterioração nos dias 0, 3 e 8 (d).....	30
Figura 4.1 - Palhinhas divulgadas pela empresa LoliWare.....	32
Figura 4.2 - Produtos comercializados pela empresa Evoware.....	33
Figura 4.3 - Alternativa às garrafas plásticas Ooho.....	34
Figura 4.4 - Teste de absorção de água em diferentes temperaturas.....	35
Figura 4.5 - Palhinhas comestíveis.....	36
Figura 4.6 - Produtos comestíveis comercializados pela empresa BIOTREM.....	39
Figura 4.7 - Produtos comercializados pela empresa Bakeys.....	40
Figura 4.8 - Copo comestível Cupffee.....	41
Figura 4.9 - Palhinhas comestíveis Canù.....	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Composição das embalagens.....	27
--	----

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASAE - Autoridade de Segurança Alimentar e Económica

GEE - Gases de Efeito Estufa

EFSA - Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar

IUPAC - União Internacional de Química Pura e Aplicada

NAFTA - Acordo de livre-comércio da América do Norte

NASA - National Aeronautics and Space Administration

ONG - Organização Não-Governamental

ONU - Organização das Nações Unidas

PA – Poliamida

PBAT - Polibutileno tereftalato adipato

PBS - Polibutilenosuccinato

PE - Polietileno

PET - Polietileno tereftalato

PERNU - Programa Estratégico para os Resíduos não-Urbanos

PERSU - Programa Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos

PHA - Polihidroxicanoatos

PLA - Ácido polilático

PTT - Politereftalanato de trimetileno

PNGR - Programa Nacional de Gestão de Resíduos

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RU – Resíduos Urbanos

UE - União Europeia

WWF – World Wild Fund for Nature

1 INTRODUÇÃO

Os plásticos são materiais extremamente versáteis, estão nas embalagens, nos hospitais e materiais médicos, construções, sistemas de energia, eletrônicos, agricultura, meios de transporte, nos artigos desportivos, nos artigos de vestuário e em mais vários outros setores (Pires et al., 2019, 2021). Devido ao baixo custo e multifuncionalidade, os plásticos estão espalhados por todo o mundo. A humanidade habituou-se ao uso deste material, mas foi somente em julho de 1907 que o químico Leo Baekeland criou o primeiro plástico sintético capaz de ser produzido em massa, a baquelite (Crespy et al, 2008).

A palavra plástico vem do grego “Plastikós” que significa algo moldável (Silva & Paoli, 2005), logo são materiais poliméricos que podem ser modelados usando temperatura e/ou pressão, contudo à temperatura ambiente são sólidos (Canevarolo, 2006). O plástico não é apenas um material, mas uma família de centenas de diferentes materiais (PlasticsEurope, 2018). Os polímeros conhecidos como plásticos enquadram-se em duas grandes categorias, os termoplásticos e os termorrígidos, que possuem características e propriedades diferentes entre si (Silva & Paoli, 2005; Souza e Fernando, 2016; Souza et al., 2017).

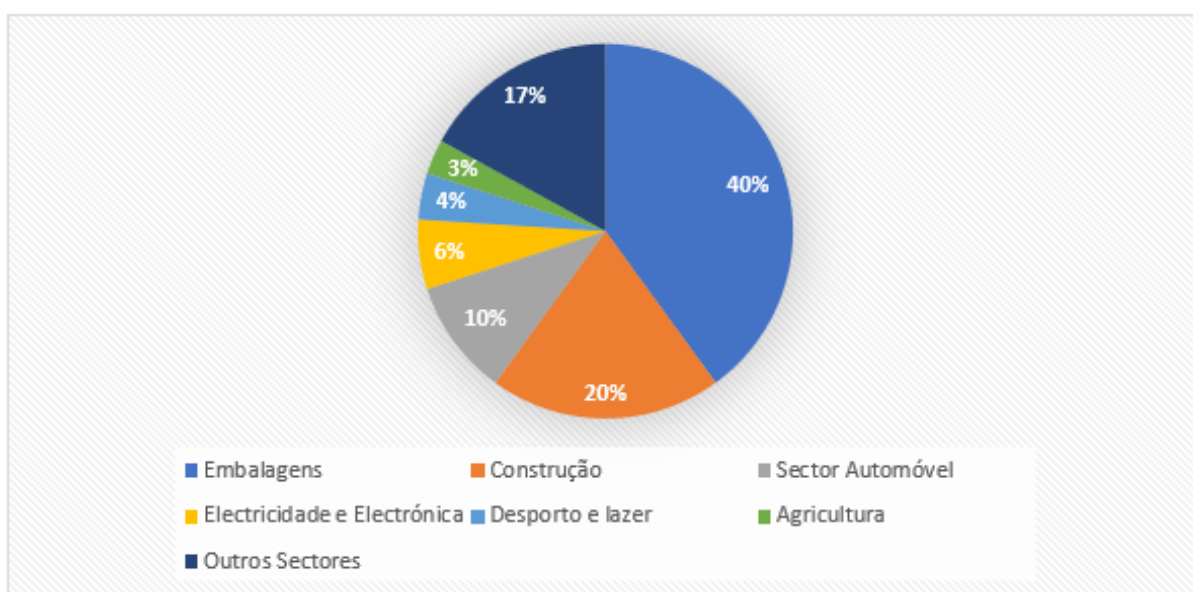
Os plásticos termorrígidos sofrem uma alteração química quando aquecidos, o que favorece a formação de uma rede tridimensional, não tendo por isso a capacidade de serem remodelados (PlasticsEurope, 2018). Em contrapartida, os termoplásticos destacam-se por possuírem a capacidade derreterem quando aquecidos e endurecidos quando resfriados de forma cíclica, ou seja, essa característica permite que esses materiais possam ser aquecidos, modelados e resfriados repetidas vezes, definindo uma reversibilidade no processo (Canevarolo, 2006).

Os materiais plásticos podem ser produzidos a partir de diferentes matérias-primas, podendo ser fóssil (petróleo bruto, gás, etc) ou renovável (cana-de-açúcar, amido, óleos vegetais, etc). Independentemente da natureza da matéria-prima, certos tipos de plásticos são compostáveis quando devidamente coletados e tratados (PlasticsEurope, 2019; Souza et al., 2020a e 2020b).

Em 2018, a produção mundial de plástico atingiu as 359 milhões de toneladas anuais (PlasticsEurope, 2019), no ano seguinte a produção aumentou para 368 milhões

de toneladas. Asia, NAFTA (EUA, México e Canadá) e Europa são os maiores fornecedores com 51%, 19% e 16% da produção mundial respetivamente. Vale salientar que a produção da China isoladamente representa 31% de toda a fabricação mundial. (PlasticsEurope, 2020).

De acordo com o relatório anual da PlasticsEurope, em 2019 foram consumidos 50,7 milhões de toneladas de artigos plásticos somente na Europa. A figura 1.1 ilustra a distribuição da procura de plásticos por setor e evidencia uma tendência observada mundialmente, em que a maior percentagem do plástico produzido destina-se a embalagens, ou, dito de outra forma, para descarte instantâneo ou quase imediato (Costa, 2018).



Fonte: PlasticsEurope Market Research Group.

Figura 1.1 - Distribuição da procura de plásticos por segmento de mercado na Europa.

O impacto do plástico e resíduos plásticos no meio ambiente e saúde humana cresce a um ritmo semelhante ao da sua produção. O plástico, na sua grande maioria fóssil, é não só responsável pela emissão de dióxido de carbono, que promove o aquecimento global e por sua vez as alterações climáticas, mas também inúmeros efeitos nocivos para os diversos ecossistemas do nosso planeta e para a saúde humana. (Teles, 2020; Souza et al., 2018a, 2019a). Mais de 5 mil milhões de pedaços plásticos já estão nos oceanos, a estimativa é de que em 2050 existirão mais plásticos do que peixes nos oceanos (MacArthur, 2016). Aproximadamente, 80% dos plásticos que se encontram nos

oceanos são de origem terrestre, e os demais 20% são gerados pelo turismo, pesca, indústrias e navios/embarcações (Mattsson et al., 2015; Veiga et al., 2016).

Tendo em vista os danos ambientais causados pelas emissões de gases de efeito estufa e as preocupações dos líderes governamentais em elaborar novas legislações, diretrizes e políticas públicas acerca do consumo excessivo dos materiais plásticos e dos investimentos que estão a ser feitos nesse campo. Internacionalmente, destacam-se as Assembleias de Meio Ambiente do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) como um dos principais fóruns de discussão intergovernamental.

A segurança alimentar não envolve apenas os alimentos, mas também todos os materiais e componentes destinados a entrar em contato com os géneros alimentícios e que, por meio da transferência de perigos químicos, físicos e biológicos podem comprometer a saúde humana (Geueke et al., 2014). Qualquer material destinado a entrar em contato com alimentos é considerado um *Food Contact Material*, incluindo embalagens, palhinhas, pratos e copos (EFSA, 2018; Souza et al., 2018b, 2019b). No relatório anual de 2020 (*Plastics- the Facts*), a PlasticsEurope prevê que embora atualmente a maioria dos materiais plásticos são de base fóssil e são produzidos a partir do petróleo ou gás, no longo prazo, a produção de plásticos deve se desvincular deste tipo de matéria-prima. Cada vez mais observam-se publicações de artigos académicos acerca de pesquisas sobre materiais substitutos aos plásticos tradicionais utilizados para a produção de utensílios de utilização única bem como para uso em embalagens alimentares, alguns desses produtos já se encontram disponíveis no mercado e são essas alternativas que serão o foco deste trabalho, em especial as alternativas comestíveis.

2 PLÁSTICOS DE UTILIZAÇÃO ÚNICA: EFEITOS NO MEIO AMBIENTE

2.1 PLÁSTICOS DE UTILIZAÇÃO ÚNICA

O plástico de utilização única é caracterizado como o plástico que é usado apenas uma vez antes de ser descartado. A diretiva UE 2019/904 do parlamento europeu e do conselho, apresenta a seguinte definição para plástico de uso único:

“«(...) um produto fabricado total ou parcialmente a partir de plástico e que não é concebido, projetado ou colocado no mercado para perfazer múltiplas viagens ou rotações no seu ciclo de vida mediante a sua devolução a um produtor para reenchimento ou a sua reutilização para o mesmo fim para o qual foi concebido.”

Os próximos subtópicos deste capítulo apresentam maiores informações sobre classificação, legislação, reciclagem e alternativas para este tipo de produto.

2.2 EMBALAGENS

As embalagens desempenham importante papel para a conservação do alimento, o que é fundamental para o consumidor e para a indústria, pois evita a deterioração física, química e microbiológica e, conseqüentemente, contribui para qualidade e segurança do alimento.

A embalagem é definida como invólucro, recipiente ou qualquer forma de acondicionamento, removível ou não, destinada a cobrir, empacotar, envasar, proteger ou manter, especificamente ou não, matérias-primas, produtos semielaborados ou produtos acabados (Kerry et al., 2006; Silva & Leite, 2010).

As embalagens alimentares, atuam como barreira entre o alimento e o ambiente, controlando a taxa de transferência de calor, umidade, gases, transmissão de luz e o movimento dos microrganismos ou insetos (Fang et al., 2017; Polkinghorne et al., 2018).

Segundo Robertson (2012), a embalagem possui quatro funções: proteção, comunicação, conveniência e contenção. Estas estão interligadas, tornando a embalagem num produto dinâmico com capacidade de se adaptar às necessidades do consumidor.

- **Proteção/Conservação:** a utilização de embalagens, permite proteger o seu conteúdo de diversos fatores externos sejam eles químicos, físicos ou biológicos. A proteção química permite a minimização das alterações do produto geradas pelo contato de gases, umidade ou até mesmo a luminosidade. Quanto aos fatores físicos, durante o transporte os produtos sofrem, dentre outros tipos de força mecânica, a força de compressão devido ao empilhamento das embalagens umas sobre as outras. Já a proteção biológica, a embalagem funciona como uma barreira física para fatores biológicos: microrganismos, insetos, roedores e outros animais (Marsh & Bugusu, 2007).
- **Comunicação:** além das questões envolvidas no marketing da empresa, a estética da embalagem para chamar a atenção do consumidor, a embalagem tem a função de informar sobre o produto. Informações nutricionais, modo de usar, validade, regras de conservação e armazenamento são algumas das informações que devem ser apresentadas segundo o Regulamento (UE) nº1169/2011.
- **Conveniência:** a embalagem tem o objetivo de facilitar o cotidiano do consumidor, as “aberturas fáceis” de produtos enlatados é um dos casos que podem ser citados no quesito conveniência bem como as embalagens que podem ser aquecidas em micro-ondas em caso de refeições pré-confecionadas (Marsh & Bugusu, 2007). Além desses casos, deve-se ressaltar a que a quantidade de produto que a embalagem armazena também é um ponto de conveniência, a possibilidade de adquirir produtos na quantidade que pretende consumir sem que ocorra a deterioração, evita o gasto de dinheiro desnecessário por parte do consumidor e desperdício alimentar (Robertson, 2012).
- **Contenção:** uma das principais funções da embalagem é a capacidade de conter em si o produto que lhe é destinado. Essa propriedade é importante para evitar perdas de produto que resultaria em diminuição de lucros para as empresas e aumentaria o desperdício alimentar (Robertson, 2012).

2.2.1 EMBALAGENS INTELIGENTES X EMBALAGENS ATIVAS

Por definição, as embalagens ativas consistem em embalagens que preservam os alimentos por meio de funções adicionais, não apenas de barreira, como acontece com as embalagens passivas, interagindo, assim, com o alimento (Azeredo et al., 2000), e apresentando alguma característica tecnológica adicional.

Essas embalagens permitem a interação com o alimento, como também entre os componentes presentes na própria embalagem, com o objetivo de entregar ao consumidor um produto com qualidade nutricional inalterada e o crescimento de microrganismos patogênicos e deteriorantes inibido, o que resulta em segurança quanto à ingestão do alimento. São inúmeras as variedades de embalagens ativas, dentre elas estão as capazes de absorver oxigênio, etileno, umidade, além das emissoras de dióxido de carbono, etanol e filmes antimicrobianos, aromáticos, entre outros (Ozdemir & Floros, 2004).

Sendo assim, as embalagens ativas possuem grande potencial na indústria alimentícia devido à sua capacidade de aumentar a vida de prateleira e segurança dos alimentos pela inibição ou retardo do crescimento microbiano e das reações que ocorrem em sua superfície (Carvalho et al., 2017; Melo et al., 2017). Vale ressaltar que as substâncias incorporadas a elas, para segurança do consumidor, devem estar inseridas na categoria de não tóxicas e adequadas aos limites estabelecidos pela legislação vigente (Rebello, 2009).

Outro grupo de embalagens que vem ganhando espaço no mercado é o de embalagens inteligentes. Estas possuem indicador externo ou interno capaz de fornecer informações ao consumidor sobre o produto, registrando alterações que podem revelar sua qualidade (Pacman, 2013).

Dentre as embalagens inteligentes, pode-se destacar as que apresentam indicadores de temperatura. A temperatura é um fator crucial à qualidade do alimento perecível, e seu controle é importante desde a etapa de produção até a sua comercialização, influenciando diretamente na deterioração do produto, seja ela por meio físico, químico ou microbiológico (Fonseca, 2009).

O oxigênio é outro fator relevante e essencial aos processos biológicos, desempenhando também um papel importante em muitos procedimentos químicos industriais. Porém, sua presença no interior de embalagens pode resultar na perda do alimento, cuja remoção é fundamental à indústria alimentícia. Nesse intuito, pesquisadores têm trabalhado no desenvolvimento de sensores de gás para determinação

e quantificação rápida deste elemento, nos quais a presença pode ser avaliada por meio da mudança de coloração do indicador, fornecendo informações que viabilizam ou não o consumo do produto (Dobrucka, 2014).

Portanto, conclui-se que as embalagens ativas interagem com os alimentos minimizando a proliferação de microrganismos patogénicos e deteriorantes enquanto as embalagens inteligentes possuem mecanismos para alertar visualmente ao consumidor caso alguma característica do produto não esteja de acordo com o parâmetro ideal de segurança alimentar do género alimentício em questão.

2.3 LEGISLAÇÃO

2.3.1 DIRETIVA EU 904/2019 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO 5 DE JUNHO

A presente diretiva afirma que na União Europeia, 80 % a 85 % do lixo marinho é constituído por plástico segundo medições realizadas por meio de contagens nas praias, sendo que os artigos de plástico de utilização única representam 50 % e os artigos relacionados com a pesca representam 27 % do total. Os produtos de plástico de utilização única incluem um leque variado de produtos de consumo corrente em rápida evolução, que são descartados após terem sido usados uma única vez para os fins a que se destinam, são raramente reciclados e tendem a tornar-se lixo. Entende-se por produto de plástico de utilização única, um produto fabricado total ou parcialmente a partir de plástico e que não é concebido, projetado ou colocado no mercado para perfazer múltiplas viagens ou rotações no seu ciclo de vida mediante a sua devolução a um produtor para reenchimento ou a sua reutilização para o mesmo fim para o qual foi concebido. Ressalta-se que a presente Diretiva reconhece que os microplásticos contribuem para o lixo marinho, entretanto estes não são abrangidos por esta normativa.

Os objetivos da presente diretiva é prevenir e reduzir o impacto no ambiente e na saúde humana de determinados produtos de plástico de utilização única, de produtos de plástico oxodegradável (materiais de plástico que incluem aditivos que, através da oxidação, conduzem à fragmentação do material de plástico em microfragmentos ou à sua decomposição química) e de artes de pesca que contém plástico e fomentar a transição para uma economia circular.

Para este trabalho, restringiremos os plásticos de utilização única que são utilizados no retalho: copos para bebidas incluindo coberturas e tampas, recipientes para alimentos de consumo imediato tipicamente consumidos a partir do recipiente, talheres, pratos, palhas e agitadores de bebidas excluindo outros produtos descritos nesta Diretiva como: pensos, tampões higiénicos, toalhetes húmidos, filtros de tabaco, cotonetes, varas para balões, entre outros.

Para atingir estes objetivos, a norma estipula que os Estados-Membros proíbam a colocação no mercado de produtos de plástico de utilização única que se encontram facilmente disponíveis alternativas adequadas e mais sustentáveis a preços acessíveis. Entretanto, prevê-se que nos casos em que ainda não estejam facilmente disponíveis alternativas adequadas e mais sustentáveis, os Estados-Membros deverão ser obrigados a tomar as medidas necessárias, como por exemplo, a fixação de metas nacionais de redução do consumo, mas deverão assegurar que essas restrições sejam proporcionais e não discriminatórias. Os Estados-Membros deverão incentivar a utilização de produtos que sejam próprios para utilizações múltiplas e que, depois de se terem transformado em resíduos, possam ser preparados tendo em vista a sua reutilização e reciclagem. Além dessas medidas, deve-se fomentar a procura de soluções mais sustentáveis.

A Diretiva estipula ainda que, a partir de 2025 as garrafas para bebidas contendo politereftalato de etileno como a principal componente (garrafas de PET) contenham, no mínimo, 25 % de plástico reciclado e que até 2030 essa percentagem deverá ser aumentada para 30%.

2.3.2 LEI 76/2019 02 DE SETEMBRO DE 2019

Após a publicação da Diretiva EU 904/2019 do Parlamento Europeu e do conselho 5 de junho de 2019, e da obrigatoriedade dos Estados-Membros em estabelecer regras no que se refere às sanções aplicáveis às infrações e disposições nacionais para garantir o cumprimento desta norma, foi publicada no dia 02 de setembro de 2019, a Lei 76/2019 determina a não utilização e não disponibilização de louça de plástico de utilização única nas atividades do setor de restauração e/ou bebidas e no comércio a retalho.

São englobadas as seguintes atividades:

- Comércio a retalho: atividade de revenda ao consumidor desenvolvida dentro ou fora de estabelecimentos de comércio, em feiras, mercados municipais, de modo ambulante, à distância, ao domicílio e através de máquinas automáticas;
- Comércio a retalho não sedentárias: atividade de comércio com a presença do comerciante nos locais de venda sem caráter fixo e permanente como em feiras ou modo ambulante;
- Restauração e/ou bebidas não sedentárias: prestação de serviços de restauração e/ou de bebidas com caráter esporádico e/ou ocasional;
- Restauração e/ou bebidas: atividades destinadas a prestar serviços de alimentação ou de bebidas e cafetaria no próprio estabelecimento ou fora dele.

A lei estabelece a substituição do uso de plásticos de utilização única pela utilização de louça reutilizável, ou, em alternativa, louça em material biodegradável. E, de acordo com o Artigo 4, o Governo, em cooperação com os operadores económicos e meios académicos, promove a realização de investigação e estudos conducentes à criação de soluções alternativas para colocação no mercado de utensílios de refeição descartáveis produzidos a partir de materiais biodegradáveis.

Estabelece-se que a fiscalização do cumprimento do disposto na presente Lei é de competência da Autoridade de Segurança Alimentar e Económica (ASAE). E que a violação dos pressupostos desta lei constitui contraordenação ambiental punível com coima, nos termos do n.º 2 do artigo 22.º da Lei n.º 50/2006, de 29 de agosto, na sua redação atual.

A Lei prevê a utilização de louça de plástico de utilização única em contexto clínico/hospitalar para o consumo de alimentos ou bebidas bem como em contexto de emergência social e/ou humanitária.

O 10º Artigo prevê um período transitório de adaptação. Sendo este de um ano para prestadores de serviços de restauração e/ou de bebidas, dois anos para prestadores de serviços não sedentários de restauração e/ou de bebidas e de 3 anos para o comércio a retalho.

2.3.3 DECRETO-LEI N 22-A/2021 17 DE MARÇO

Devido aos constrangimentos causados pela pandemia da doença COVID-19 no setor da restauração, que durante dois períodos de confinamento tiveram suas atividades suspensas, mas permaneceram com o funcionamento nas modalidades de *take away* e/ou à porta do estabelecimento ou ao postigo, decidiu-se prorrogar o período de que os prestadores de serviços de restauração e de bebidas dispõem para se adaptarem às disposições da Lei n.º 76/2019, de 2 de setembro.

A obrigação de adaptação à Lei para os prestadores de serviços de restauração e de bebidas foi prorrogada até o dia 1 de julho de 2021 e oposição ao 2 de setembro de 2020 conforme estipulado previamente.

2.4 ECONOMIA VERDE

O conceito de economia verde foi publicado inicialmente pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em 2008. Um dos documentos fundamentais sobre economia verde é o relatório da PNUMA denominado “Rumo à economia verde: caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza”, que define o termo economia verde como:

“[...] um modelo econômico que resulta em “melhoria do bem-estar da humanidade e igualdade social, ao mesmo tempo em que reduz significativamente riscos ambientais e escassez ecológica”. Em outras palavras, uma economia verde tem baixa emissão de carbono, é eficiente em seu uso de recursos e é socialmente inclusiva. Em uma economia verde, o crescimento de renda e emprego deve ser impulsionado por investimentos públicos e privados que reduzam as emissões de carbono e a poluição, aumentem a eficiência energética e o uso de recursos e impeçam a perda da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (PNUMA, 2011, p.17).

Em suma, a Economia Verde tem como fundamento o uso consciente de recursos, melhor distribuição de água no planeta, substituição de energias renováveis, aumento da

eficiência energética, redução das emissões de carbono e gases poluentes, diminuição da poluição e dos resíduos, além de garantir uma maior participação da sociedade, como forma de inclusão social a fim de evitar a perda de biodiversidade e serviços ambientais. Para atingir estes objetivos, são necessários investimentos públicos direcionados, reformas políticas e mudanças na regulamentação (ONU, 2011).

Em Setembro de 2015, aconteceu a conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável. Esta reunião foi um marco histórico que resultou no documento “Transformando o nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” (abreviado para “Agenda 2030”) contendo as 17 metas descritas na figura 2.1, subdivididas em 169 metas para atingirmos o desenvolvimento sustentável. O documento foi aprovado com unanimidade pelos 193 Estados-Membros e entrou em vigor a partir de 01 de janeiro de 2016.



Fonte: PNUMA, 2015.

Figura 2.1 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

A economia verde é um caminho para alcançar a Agenda 2030 pois é o pilar para o cumprimento de 5 dos 17 objetivos:

- 1: erradicação da pobreza;
- 8: trabalho digno e crescimento económico;
- 9: Indústria, inovação e infraestrutura;

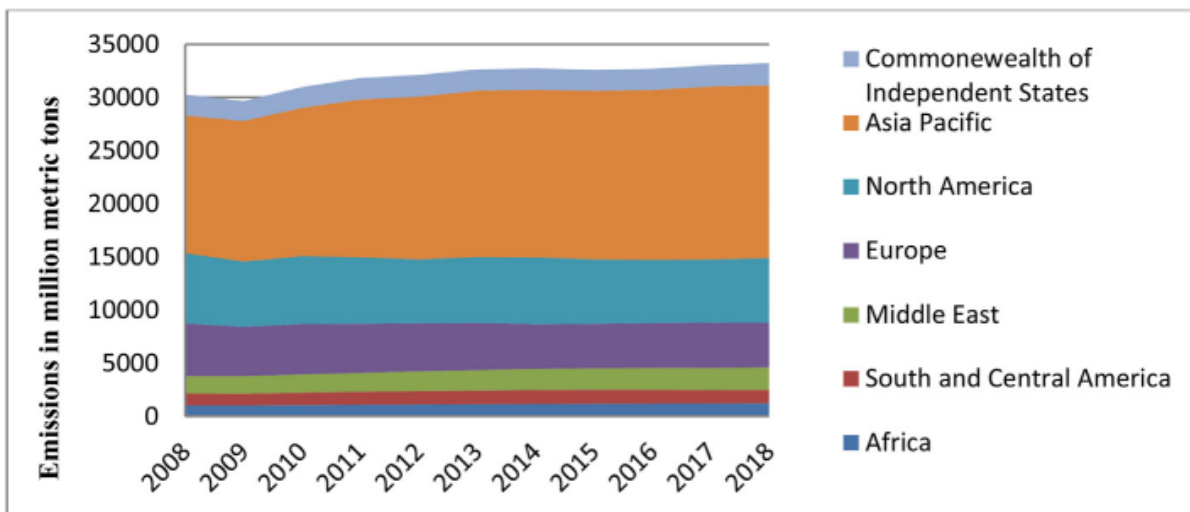
- 11: Cidades e comunidades sustentáveis;
- 12: Produção e consumo sustentáveis (PNUMA, 2015).

2.5 EFEITO ESTUFA

Durante os últimos anos, a economia global evoluiu consideravelmente. Em contrapartida, o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) causaram um impacto desastroso em nossa sociedade e no meio ambiente. Dentre estes os GEE's o CO₂ é o mais produzido pelo homem (NASA, 2017), o CO₂ é um produto direto da queima de combustíveis fósseis cuja origem é o petróleo. Atualmente, o petróleo é a fonte de energia mais utilizada no mundo, correspondendo a 34,5% de todo o consumo energético global em 2018 (Ritchie e Roser, 2017). Vale ressaltar que o petróleo é também a base do tipo de plástico mais comum, o plástico de origem fóssil (PlasticsEurope, 2019).

Além das emissões resultantes da queima do petróleo, existem outros fatores relacionados às atividades antrópicas que provocam emissões de CO₂: desmatamento; queimadas, uso inadequado do solo (substituição da cobertura vegetal); e mudanças no uso da terra visando a expansão agrícola e a urbanização. Entre 1900 e 2018 a concentração de CO₂ na atmosfera subiu 43%, atingindo o valor mais elevado dos últimos 800.000 anos e, em simultâneo, as concentrações atmosféricas de Metano e Óxido Nitroso aumentaram 109% e 18%, respetivamente (Ritchie & Roser, 2017). Todos estes fatores afetam diretamente a dinâmica e o ciclo do carbono, refletindo em profundas alterações ambientais e climáticas (Bayer et al., 2016).

As alterações climáticas mundiais mostram-se cada vez mais uma grande ameaça à sobrevivência e saúde do ser humano (Liao et al., 2015). A primeira conferência das Nações Unidas a pautar os problemas ambientais foi em 1974, a conferência de Estocolmo e desde então várias outras conferências ocorreram para a criação de metas e objetivos para minimizar os impactos ambientais. Entretanto, como mostrado na figura 2.2, a emissão total de gases do efeito estufa não tem mostrado sinais de diminuição (Sun et al., 2020).



Fonte: Sun et al, 2020.

Figura 2.2 - Emissão mundial de dióxido de carbono entre 2008 e 2018, por região (em milhões de toneladas métricas de dióxido de carbono).

A principal responsável pelas emissões de gases do efeito estufa (GEE), são as indústrias (Mumtaz et al 2018), entretanto, outras áreas do processo produtivo também são grandes protagonistas nesse impacto, como é o exemplo da logística (Graham et al., 2018). O setor de transportes corresponde por 23% das emissões de gás carbônico do mundo (Banco Mundial, 2017) e cerca de 8% das emissões de CO₂ relacionados ao uso de energia mundial (PLVB, 2018).

De acordo com o relatório “Plastic & Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet”, publicado em 2019 pela Organização Não-Governamental (ONG) Center for International Environmental Law (CIEL) cerca de 4 a 8% do consumo anual de petróleo está associado à produção de plásticos e que até 2050, caso o ritmo de produção siga o padrão de aumento dos últimos anos essa percentagem chegará a valores entre 10 e 13%. O relatório reforça que o ciclo de vida do plástico gera gases do efeito estufa em todo o seu processo: desde a obtenção dos produtos fósseis, o refino e fabricação dos plásticos, os resíduos plásticos, os impactos ambientais em terra e nos oceanos e o transporte envolvido em todas essas etapas.

Segundo Royer et al. (2018), em um estudo preliminar e sem dados quantitativos, em uma descoberta acidental durante a quantificação de gás metano proveniente da atividade biológica da água do mar, percebeu-se que as garrafas plásticas que utilizavam para armazenar as amostras produziam mais metano que os organismos presentes na água.

Concluiu-se que o polietileno, plástico amplamente utilizado para artigos de utilização única emite metano e etileno quando exposto à radiação solar.

Dentro do padrão de constante crescimento em que o mundo está vivendo, o que ocorre é a utilização massiva de matérias-primas sem que haja a devida preocupação com a escassez de recursos naturais (Miller & Spoolman, 2012), o que mostra a necessidade da adoção de modelos de economias mais sustentáveis (Daly, 2004). Pereira et al. (2011), sinalizam sobre o perigo de postergar não somente as discussões, mas principalmente as práticas em torno da sustentabilidade. Entretanto, com todas as evidências dos problemas gerados por estes produtos, pesquisas recentes mostram que os consumidores cada vez mais demonstram maior preocupação com as questões ambientais. Esse processo é de extrema importância para motivar as empresas a produzirem e comercializarem produtos de baixo teor de carbono bem como a utilização de métodos de processos logísticos mais ecológicos (Ji & Yang, 2017).

2.6 GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

Conforme dito nos tópicos anteriores, a produção mundial de plástico foi de 368 milhões de toneladas em 2019 e em média 85% dos lixos marinhos são resíduos plásticos. Além disso, estima-se que cerca de 60% de todo o plástico produzido entre 1950 e 2015 já foram descartados e estão acumulados em aterros ou dispersos no ambiente. Devido às suas características de resistência e durabilidade (estima-se que alguns somente sejam degradados em 500 anos (WWF, 2019), os plásticos acumulam-se nos ecossistemas.

De acordo com o artigo “Microplásticos: origens, efeitos e soluções” publicado pelo Parlamento Europeu em 2018, os microplásticos encontrados na natureza podem ter duas origens:

- Primários: são aqueles liberados diretamente para o meio ambiente como pequenas partículas, estima-se que representam entre 15 e 31% dos microplásticos dos oceanos, a principal origem são as lavagens de roupas sintéticas (cerca de 35%) seguida pelo desgaste dos pneus durante a condução (corresponde a cerca de 28%) e aqueles adicionados intencionalmente em produtos de cuidados pessoais (por exemplo, microesferas para esfoliação facial) que correspondem a 2%.

- Secundários: provenientes da degradação de objetos plásticos maiores, como sacos de plástico, garrafas e redes de pesca.

Os microplásticos estão em todos os lugares e organismos, estima-se que cada um de nós ingira entre 74 mil a 121 mil partículas por ano, conforme idade e sexo (Cox et al, 2019). Além disso, os microplásticos apresentam o potencial de absorver contaminantes químicos, o que leva os organismos aquáticos à ingestão de poluentes orgânicos e inorgânicos (Carvalho & Neto, 2016). Tendo em vista todas essas questões abordadas até então, é evidente a necessidade de uma gestão de resíduos plásticos eficiente.

Desde 1997, Portugal dispõe de planos de gestão de resíduos urbanos. São identificáveis sucessos, tais como o encerramento das lixeiras e a estruturação do setor num curto espaço de tempo, pese embora tenham ocorrido dificuldades associadas como as reduzidas taxas de valorização de resíduos de embalagens e, a maior utilização do aterro sanitário como principal opção de tratamento (APA, 2019?). O Programa Nacional de Gestão de Resíduos (PNGR) é subdividido entre o Programa Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) e Programa Estratégico para os Resíduos não-Urbanos (PERNU). Neste trabalho, daremos maior enfoque ao PERSU devido ao enfoque no consumo individual.

O Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2020 (PERSU 2020) foi aprovado pela Portaria n.º 187-A/2014, de 17 de setembro, trata-se da estratégia para a gestão de resíduos urbanos para o período de 2014-2020, definindo a visão e os objetivos para a gestão dos resíduos urbanos, estabelecendo como prioridades, as seguintes:

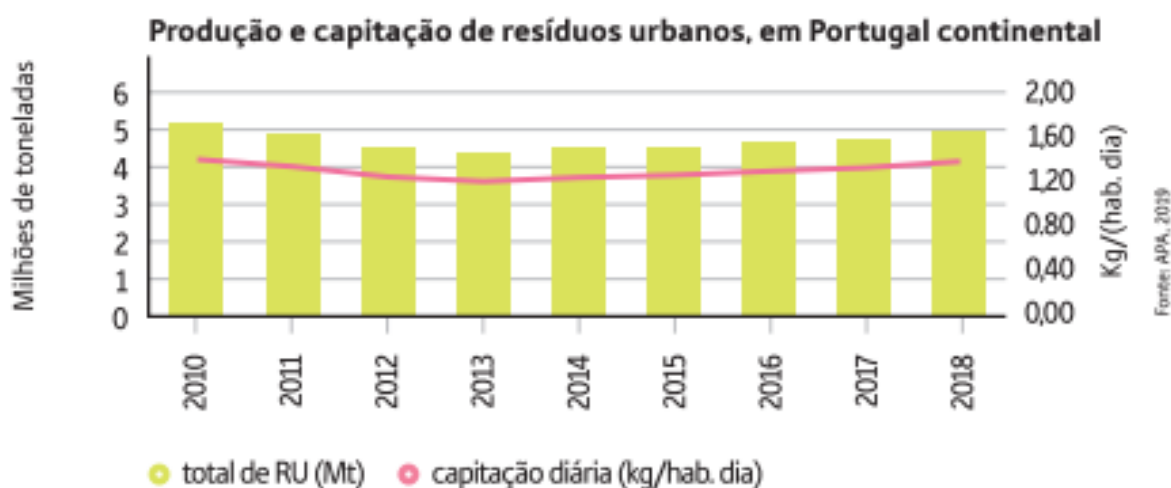
- Eficiência na utilização e gestão dos recursos primários e secundários, dissociando o crescimento económico do consumo de materiais e da produção de resíduos.
- Eliminação progressiva da deposição de resíduos em aterro, com vista à erradicação da deposição direta de RU em aterro até 2030.
- Aproveitamento do potencial do setor dos RU para estimular economias locais e a economia nacional: uma atividade de valor acrescentado para as pessoas, para as autarquias e para as empresas, com capacidade de internacionalização, no quadro de uma economia verde.

- Envolvimento direto do cidadão na estratégia dos RU, apostando na informação e em facilitar a redução da produção e a separação, tendo em vista a reciclagem.

Até o presente momento, junho de 2021, os planos PNGR/PERSU/PERNU 2030 encontram-se “em análise” após abertura para consulta pública, portanto, sem novas instruções e modificações em relação aos planos “2020”.

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) divulga recorrentemente relatórios acerca do panorama ambiental português, de com o mais recente “Relatório do Estado do Ambiente Portugal” publicado em 2019, no sector dos “Resíduos” observou-se um período de redução da produção de resíduos urbanos no início desta década. Porém, desde 2014 que a produção tem vindo a aumentar em Portugal continental, nos 4,94 milhões de toneladas em 2018 (+4,2% face a 2017), o que corresponde a uma produção diária de 1,38 kg por habitante. Em 2018, a taxa de preparação para reutilização e reciclagem de resíduos urbanos foi de 40%, mantendo a tendência ascendente verificada na última década. No entanto, a deposição de resíduos urbanos biodegradáveis em aterro aumentou pelo segundo ano consecutivo, atingindo os 46% em 2018.

Segundo o mesmo relatório, em 2018 a produção total de resíduos urbanos em Portugal continental foi cerca de 4,94 milhões de toneladas (+4,2% face a 2017), o que corresponde a uma produção diária de RU de 1,38 kg por habitante (1,33 kg em 2017), conforme exposto na Figura 2.3.



Fonte: APA, 2019.

Figura 2.3 - Produção e captação de resíduos urbanos, em Portugal continental.

Vale ressaltar que a figura acima refere-se à produção total de resíduos urbanos. Os dados para o consumo de plástico isoladamente são escassos, mas segundo a APA, no relatório “Estratégia Europeia sobre Plásticos” publicado em 2018, estima-se que a produção por pessoa de resíduo plástico em Portugal seja de 31 Kg por ano de acordo com dados recolhidos pela Eurostat. De acordo com a PlasticsEurope, esse valor está acima da média europeia.

Tendo em vista todas as questões apontadas até então, é inegável a necessidade de reduzir os consumos plásticos e a importância do desenvolvimento de alternativas sustentáveis aos plásticos de utilização única.

3 ALTERNATIVAS NÃO COMESTÍVEIS AOS PLÁSTICOS DE UTILIZAÇÃO ÚNICA

Tendo em vista todas as questões envolvendo o uso de plásticos de utilização única e o meio ambiente, empresas, centros de investigação e universidades buscam desenvolver alternativas a este material. Alguns desses produtos, também de utilização única, já são facilmente encontrados no mercado, como é o caso dos talheres de madeira, palhinhas de papel, diversos produtos feitos a partir bioplásticos. Neste capítulo, estão concentradas as alternativas não-comestíveis aos plásticos de utilização única. As alternativas reutilizáveis como palhinhas de aço inox, bambu, vidro, silicone dentre outros produtos do género, não serão abordadas neste trabalho.

3.1 BIOPLÁSTICOS

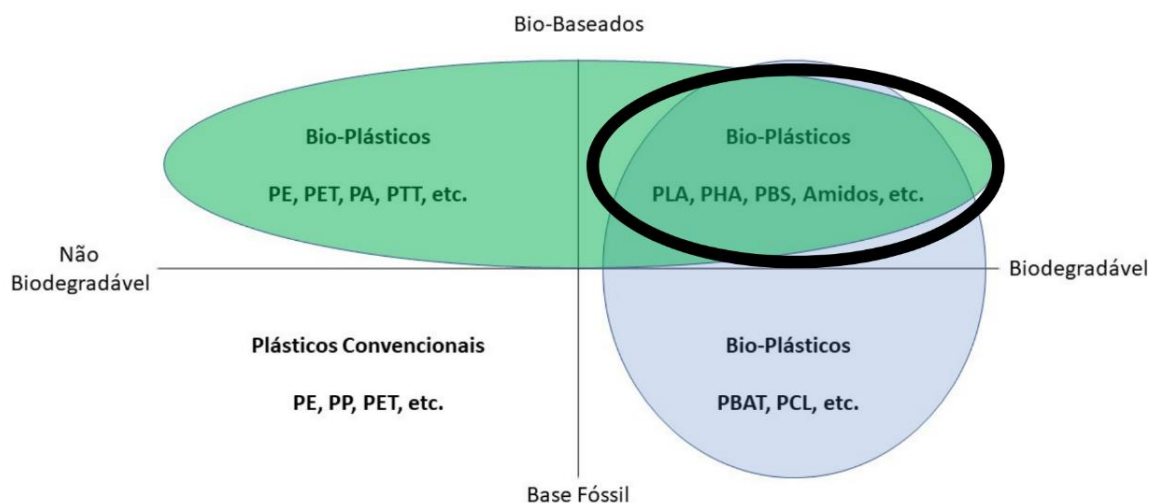
O conceito “bioplástico” não é novidade, ao contrário dos plásticos de origem fóssil, estes produtos, geralmente, são desenvolvidos a partir de matérias-primas de base biológica. Entretanto, a descoberta de grandes reservas petrolíferas após a Segunda Guerra Mundial e o baixo valor agregado aos petroplásticos, o desenvolvimento destes materiais foi interrompido (Iles & Martin, 2013). Nas últimas décadas a quantidade de pesquisas sobre bioplásticos aumentou consideravelmente (Freemantle, 2005; Queiros & Collares-Queiroz, 2009) e sua produção cresceu associada à capacidade desses materiais serem sustentáveis nos aspetos ambiental, social e económico (Iles & Martin, 2013).

A degradação dos plásticos convencionais libera na atmosfera o dióxido de carbono que esteve concentrado nas bacias de petróleo por milênios. Por outro lado, alguns bioplásticos apresentam em seu ciclo de vida tanto a captura quanto a liberação de dióxido de carbono, uma vez que são produzidos a partir de vegetais que captam essa molécula ao realizar a fotossíntese (Iles & Martin, 2013; Yu, & Chen, 2008). Em alguns casos, este processo produtivo pode chegar a captar um volume de gases superior àquele liberado (Dornburg, et al., 2008; Mores, 2013).

De acordo com a European Bioplastics (2020), atualmente, existe uma alternativa de bioplástico para quase todos os materiais plásticos convencionais e

aplicação correspondente. Bioplásticos - plásticos de base biológica, biodegradáveis ou ambos - têm as mesmas propriedades dos plásticos convencionais e oferecem vantagens adicionais. Isso inclui uma pegada de carbono reduzida ou opções adicionais de gerenciamento de resíduos, como compostagem. Os bioplásticos são uma parte essencial da economia verde e uma indústria inovadora e de rápido crescimento que tem o potencial de dissociar o crescimento econômico do esgotamento de recursos e do impacto ambiental. Bioplásticos são uma família diversificada de materiais com propriedades diferentes (Figura 3.1). Existem três grupos principais:

- Plásticos não biodegradáveis de base biológica ou parcialmente biológica, como bio-PE (Polietileno), bio-PA (Poliamida) ou bio-PET (Polietileno tereftalato) e polímeros de desempenho técnico de base biológica, como bio-PTT (Politereftalanato de trimetileno);
- Plásticos de base biológica e biodegradáveis, como PLA (Ácido polilático) e PHA (Polihidroxialcanoatos) ou PBS (Polibutilenosuccinato);
- Plásticos baseados em recursos fósseis e biodegradáveis, como o PBAT (Polibutileno tereftalato adipato).



Fonte: European Bioplastics, 2020 (adaptado).

Figura 3.1 - Classificação de plásticos convencionais e bioplásticos.

Atualmente, os bioplásticos representam cerca de um por cento das cerca de 368 milhões de toneladas de plástico produzidas anualmente. Mas com o aumento da demanda e o surgimento de materiais, aplicações e produtos mais sofisticados, o mercado já está crescendo de maneira muito dinâmica.

De acordo com os últimos dados de mercado compilados pela European Bioplastics em cooperação com o nova-Institute, as capacidades globais de produção de bioplásticos deverão aumentar de cerca de 2,11 milhões de toneladas em 2020 para aproximadamente 2,87 milhões de toneladas em 2025.

Para este estudo, o objeto de estudo são os bioplásticos de base biológica e biodegradáveis conforme evidenciado na Figura 3.1.

3.1.1 PLA

O ácido polilático, ou polilactato (PLA) não se refere a um único material, mas a uma família de materiais poliméricos versáteis, produzido a partir de matérias-primas agrícolas renováveis e que apresentam biodegradabilidade (Saeidlou, 2012). O PLA é utilizado em aplicações como sacos plásticos, copos descartáveis, placas e produtos de baixa performance. Ele apresenta propriedades interessantes para uso biomédico, como biocompatibilidade e bioabsortividade (Garlotta, 2001). Além destas características, o PLA apresenta uma elevada resistência mecânica que pode ser comparada com as de termoplásticos como o polietileno tereftalato (PET) e o polipropileno (PP).

A produção do PLA pode ocorrer pela polimerização por condensação, usando como monômero o ácido láctico. O ácido láctico é obtido a partir da fermentação de açúcares provenientes de hidratos de carbono, como milho ou cana-de-açúcar, que são fontes renováveis. A rota mais usada comercialmente converte o lactídeo, dímero cíclico do ácido láctico, em PLA por polimerização por abertura de anel (ROP), que produz polímero com alta massa molar (Auras et al., 2010).

O processo de produção do PLA por abertura de anel inicia a partir da remoção de água numa reação de condensação contínua do ácido láctico em solução, que produz pré-polímero com baixa massa molar. O pré-polímero é convertido no lactídeo com uso de catalisador e é vaporizado. O lactídeo gerado é purificado por destilação. No último reator acontece a polimerização por abertura de anel, em que é produzido PLA com alta massa molar (Vink et al., 2010).

Após a produção e o processamento, o PLA é utilizado e quando descartado possui a necessidade de ser enviado para uma destinação final específica. O PLA é biodegradável sob condições de compostagem industrial, mas não se degrada nas condições de compostagem doméstica. Na compostagem industrial, temperaturas mais altas são alcançadas e a biomassa é revirada mais frequentemente que na doméstica, o que torna o sistema mais homogêneo e causa alta degradação da biomassa (Hermann et al., 2011).

Durante a degradação, o PLA sofre o processo de hidrólise e se transforma em oligômeros, dímeros e monômeros em 45 a 50 dias e na faixa de temperaturas de 50 a 60 °C. O polímero precisa dessas condições específicas para degradar. Estudos mostram que sua degradação é muito lenta se for apenas enterrado em solo (Tokiwa & Calabia, 2006; Ohkita & Lee, 2006).

3.1.2 PHA

Dentre os biopolímeros conhecidos, uma alternativa amplamente estudada é a produção de polihidroxialcanoatos (PHA)- Estes biopolímeros são produzidos por uma grande variedade de bactérias, na forma de grânulos intracelulares de reserva de energia e podem ser produzidos por fontes renováveis ou resíduos (Franchetti & Marconato, 2006).

Os PHAs são biopolímeros que possuem propriedades como biodegradabilidade, biocompatibilidade, transparência, além de serem termoplásticos e poderem ser produzidos através do uso de fontes renováveis de matéria-prima, o que lhes confere grande potencial de aplicação (Jendrosseck, 2007). Assim, vem sendo utilizado em várias aplicações, como fibras têxteis, embalagens de alimentos e por ser compatível com tecido humano é utilizado também em materiais biomédicos (Tertyshnaya et al., 2019). Na agricultura são usados como veículo para inoculante e matriz para liberação controlada de agrotóxicos (Chen & Wu, 2005).

Os polihidroxialcanoatos ganharam destaque nos últimos anos, tanto nas pesquisas laboratoriais quanto na produção industrial. No entanto, a produção em grande escala deste biopolímero se caracteriza por ter alto custo financeiro, sendo este o motivo de não estar sendo produzido extensivamente, uma vez que materiais poliméricos de origem petroquímica, como o polipropileno, podem chegar a ser cerca de 5 vezes mais baratos quando comparados ao PHB (Chanprateep, 2010; Bugnicourt et al., 2014).

Outra limitação da produção industrial de PHAs é a dificuldade em manter as condições de crescimento bacteriano, já que na maioria dos estudos o processo de síntese e acumulação do PHA ocorre muito cedo, diminuindo a produtividade do processo (Gholami et al., 2016).

3.1.2.1 YPACK

O projeto YPACK, coordenado pelo Dr. José María Lagarón, do Conselho Nacional de Investigação Espanhol (CSIC) com colaboração de uma equipa multidisciplinar de 21 parceiros em 10 países europeus incluindo instituições portuguesas como a Sonae, Biotrend, a Universidade do Minho e a Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/NOVA).

De acordo com o *website* desta iniciativa (www.ypack.eu), o projeto consiste no desenvolvimento de embalagens compostáveis (Figura 3.2) feitas a partir de um tipo de PHA, o poli(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate), identificado com a sigla PHBV, produzido a partir de subprodutos industriais do soro de queijo e de microcelulose proveniente de casca de amêndoa.

Entretanto, para ser biodegradado, o produto deve ser recolhido e tratado em compostagem industrial anaeróbica a 60°C onde será degradado em 90 dias.



Fonte: YPACK.

Figura 3.2 - Protótipos de embalagens de PHBV.

3.1.3 PBS

Um bioplástico bastante promissor produzido a partir do ácido succínico é o polibutileno de succinato (PBS). É obtido via polimerização do ácido succínico juntamente com o 1,4-butandiol ($C_4H_{10}O_2$) (Jacquel, 2011).

Em comparação com os plásticos convencionais, o PBS ainda é caro e carece das propriedades necessárias para o uso final, como propriedades de barreira a gases, maciez e viscosidade de fusão. Portanto, é frequentemente misturado com biopolímeros naturais, como celulose, amido, proteína de soja e várias fibras vegetais para reduzir o custo de produção e promover diferentes aplicações. O amido é conhecido por seu uso como aditivo em polímeros biodegradáveis devido à sua alta capacidade de biodegradação. Além de sua abundância, acessibilidade, renovabilidade e biodegradabilidade, o amido precisa ser modificado com plastificantes para diminuir as interações intermoleculares e aumentar sua processabilidade (Liu et al., 2015).

3.1.4 AMIDO TERMOPLÁSTICO

O amido constitui, juntamente com a celulose, uma das mais abundantes fontes de hidratos de carbono. Ele é armazenado nas plantas na forma de grânulos e, as variações de tamanho, forma, associações e composição (-glicosídeos, umidade, proteínas, lipídeos, proteínas e minerais) são dependentes de sua origem botânica (Valdeirão & Janson, 1996; Tester & Karkalas, 2001).

O amido granular não possui característica termoplástica. No entanto, quando submetido à pressão, cisalhamento, temperaturas na faixa de 90-180°C e na presença de um plastificante como água e/ou glicerol, o amido se transforma em um material fundido. Nesse fundido, as cadeias de amilose e amilopectina estão intercaladas, e a estrutura semicristalina original do grânulo é destruída. Esse material é denominado amido termoplástico (TPS) ou amido desestruturado ou amido plastificado (Avérous, 2004).

3.2 MADEIRA

Embora algumas alternativas aos plásticos de utilização única estejam a ser comercializadas como é o caso das palhinhas em bambu e os talheres de madeira por exemplo, ainda faltam estudos que avaliem como este material se compara a outros materiais disponíveis para itens de uso único.

3.3 PAPEL

O papel é feito de celulose extraída de árvores, papel reciclado e fibras vegetais como palha de cereais. Hoje, cerca de 97% do papel mundial é feito de polpa de madeira, da qual mais de 80% é proveniente de pinheiros (fibra longa). Madeiras duras, como bétula, álamo e outras encontradas em climas temperados (principalmente Europa), também são utilizadas como matéria-prima para papelão ondulado ou para papéis de imprimir e escrever. Por outro lado, o eucalipto, nativo da Austrália e da Nova Zelândia, tem sido cultivado com sucesso em países de clima quente como matéria-prima para uma pasta de alta qualidade; isso permite a fabricação de uma ampla gama de papéis, inclusive papéis especiais. Madeiras macias, oferecem longas fibras de celulose e são, portanto, preferidas para papel e papelão que requerem características de maior resistência mecânica. A composição da madeira e as características das fibras afetam a qualidade da polpa (fibras de celulose) e o rendimento da extração (Debeaufort et al., 2021).

Além do bioplástico, o papel também é uma alternativa ao plástico. Em comparação com os plásticos convencionais de origem fóssil, o papel é fabricado a partir de toras de madeira, que também é uma fonte renovável. Portanto, o papel é geralmente considerado mais amigo do ambiente, entretanto, o uso massivo de e papel também pode causar alguns impactos no meio ambiente (Gironi, 2011). Alternativas produzidas a partir de papel são utilizadas atualmente, embalagens de *take away*, pratos de uso único e palhinhas, por exemplo, entretanto, muitos deles são revestidos com uma fina camada de plástico para torná-los mais resistentes e impermeáveis (Figura 3.3).



Fonte: GM Packaging.

Figura 3.3 - Embalagem de papel para take away.

Gutierrez et al. (2019), realizaram um estudo para comparar as propriedades de palhinhas de papel com palhinhas de plástico de origem fóssil. Foram comparadas 4 palhinhas de plástico com 3 palhinhas de papel comercializadas nos Estados Unidos da América, dentre outros quesitos, foi avaliada a resistência das palhinhas de papel em meio líquido tanto gaseificado quanto não gaseificado e em diferentes temperaturas. As conclusões deste trabalho foram: as palhinhas de papel ganharam peso (absorveram o líquido) quase imediatamente após exposição e ganharam entre 30 e 50% de peso após 60 minutos, o tipo de líquido (gaseificado ou não) não interferiu nos resultados obtidos e, o principal, após 30 minutos em meio líquido as palhinhas perderam entre 80 e 90% de sua estabilidade.

Ou seja, embora seja uma alternativa a ser considerada, alguns fatores como os impactos ambientais e alta capacidade de absorção de líquidos devem ser ponderados.

3.4 TECIDOS

Diversas empresas atualmente comercializam os “*wax wrap*” em alternativa às películas aderentes para envolver, proteger e conservar alimentos (Figura 3.4). Dentre as empresas que comercializam os produtos, podemos citar: a inglesa The Beeswax Wrap Co®, a tailandesa Superbee®, a norte americana Bee’s Wrap®, a canadense Abeego® e a empresa portuguesa Very Típico que também comercializa o produto produzido artesanalmente com cera de abelha portuguesa. De acordo os respetivos websites, todas as empresas utilizam os mesmos materiais para fabricação dos artigos: tecido de algodão orgânico revestido com resina vegetal, óleo de jojoba e cera de abelha. A Superbee® tem uma pequena modificação nas matérias-primas, a substituição do óleo de jojoba pelo óleo de coco.



Fonte: Superbee wax wraps.

Figura 3.4 - Demonstração de utilização de Wax Wraps.

A empresa The Beeswax Wrap Co® lançou em março de 2021, uma alternativa vegana registada pela The Vagan Society, de acordo com o website da marca, o produto é fabricado a partir de tecidos de algodão orgânico revestidos com óleo de jojoba

orgânico, resina de pinheiro, óleo de rícino hidrogenado e ceras de farelo de arroz, girassol e sumagre.

Pinto et al. (2017), realizaram um estudo com o wax wrap fabricado pela empresa Abeego®. O produto, de acordo com o *website*, é fabricado a partir de tecido de algodão e cânhamo orgânico revestido com resina vegetal, óleo de jojoba e cera de abelha. Os resultados dos ensaios concluíram que o envoltório desta empresa possui atividades antibacterianas, tanto contra células gram negativas quanto gram positivas. Entretanto, o produto foi testado para leveduras e capsídeos virais e não obteve resultados satisfatórios nestes casos.

3.5 OLEAGINOSAS

Muhammad et al. (2017) conduziram um estudo denominado “Desenvolvimento de materiais plásticos de base biológica para embalagens a partir de resíduos de soja”. As matérias-primas utilizadas para a produção deste bioplástico foram: resíduo de soja (*Glycine max*), amido de milho, glicerol, vinagre e água destilada em proporções descritas na Tabela 1.

Tabela 3.1 - Composição das embalagens.

Materials	Composition (g/mL)	Composition (g)	Composition (%)
Soy Protein	3 gram	3.0	0.05
Corn Starch	9.5 gram	9.5	0.11
Glycerol	5 mL	6.3	0.07
Vinegar	5 mL	5.3	0.06
Water	60 mL	60.0	0.71

Fonte: Muhammad et al., 2017.

Inicialmente, os resíduos de soja foram colocados em uma solução com 70% de água e 30% de hipoclorito de sódio durante três dias. Em seguida, foi feita a lavagem do material para retirada de resíduos de hipoclorito, secagem em estufa durante 1 hora a 100°C e, por fim, os resíduos de soja foram triturados até resultar em uma farinha.

Os insumos foram misturados conforme a proporção descrita na Tabela 1 em uma placa quente a agitada por um agitador magnético. Após atingir a viscosidade desejada, a mistura foi colocada em uma placa e levada ao forno durante 2 horas a 65°C.

Os objetivos deste estudo incluíam a quantificação da absorção de água pelo bioplástico, teste de comportamento durante a incineração e teste de resistência à tração.

Quanto à absorção de água, o filme foi colocado em um recipiente com água destilada durante 24 horas e, embora o filme não tenha perdido forma ou até mesmo se desintegrado, ocorreu aumento do peso inicial em 114,17% comprovando que houve absorção do líquido.

O comportamento do filme durante a incineração foi bastante positivo, o tempo total de queima de uma pequena amostra foi de 10 minutos o que foi considerado um resultado positivo por ser menos inflamável que o plástico de origem fóssil e, portanto, menos perigoso. A coloração da chama também foi analisada no estudo e a presença de faíscas durante a incineração. A chama de cor amarela/laranja emitiu faíscas que os investigadores atribuíram à presença do óleo que foi colocado entre o filme e a placa antes da secagem.

O teste de resistência à tração demonstrou que a força máxima a ser aplicada ao filme antes que ocorresse a ruptura foi de 6,71N, o que foi considerado satisfatório ao ser comparado ao filme desenvolvido a partir da proteína de ervilha.

O estudo conclui que embora o filme obtido tenha potencial para ser utilizado como embalagem alimentar, a questão da absorção de líquido/umidade deve ser aperfeiçoada para atingir o resultado esperado para esta finalidade.

3.6 ESTUDOS SOBRE EMBALAGENS INTELIGENTES EM BIOPLÁSTICOS

3.6.1 COUVE ROXA (*BRASSICA OLERACEA* VAR. *CAPITATA* F. *RUBRA*)

Begnini et al. (2019) desenvolveram um bioplástico com antocianina reforçado com nanocelulose extraída da fibra da banana. A formulação do bioplástico foi desenvolvida através de amido de mandioca, glicerol e um nanocomposto de alta resistência extraído das fibras do pseudocaule da bananeira, dissolvidos em água destilada e etanol, incorporados com extrato de antocianina de repolho roxo, previamente extraído. Foram testadas diferentes proporções de nanocelulose e glicerol, homogeneizadas com agitação manual e aquecidas a 50°C até atingir a gelatinização do amido. Após o resfriamento, foram adicionados entre 3 a 6g de antocianina extraída de repolho roxo, para diminuir a viscosidade, foi adicionado 14,25 g de etanol anidro e as soluções foram dispostas em placas de Petri e secas em estufa por 16-20h a 70°C.

Para atestar a eficiência da alteração de coloração dos biofilmes, foram adicionados pequenos pedaços do filme em recipientes distintos cobertos com película aderente com duas variedades de peixe: tucunaré (*Cichla ocellaris*) e filé de pescada branca (*Merluccius merluccius*) tanto em ambiente de refrigeração quanto à temperatura ambiente.

O pH do filme após o preparo encontrava-se entre 4 e 5, apresentando coloração rosa-claro (Figura 3.5). Nas primeiras 24h, já foi possível observar alteração na coloração dos bioplásticos contidos nos recipientes à temperatura ambiente, a mudança completa ocorreu no segundo dia de teste conforme a parte B da figura 3.5. Os recipientes sob refrigeração, permaneceram com a coloração inicial como pode ser visto na parte C da figura 3.5. As modificações na cor ocorrem devido a liberação de aminas voláteis que alcalinizam o meio durante a decomposição dos peixes. Concluiu-se que o melhor resultado obtido no estudo foi o da amostra formulada com 0,1g de nanocelulose e 0,75g de glicerol. Além do sucesso do bioplástico final, ressalta-se a excelente ação da antocianina como indicador de pH para uso em embalagens inteligentes.



Fonte: Begnini et al. 2019.

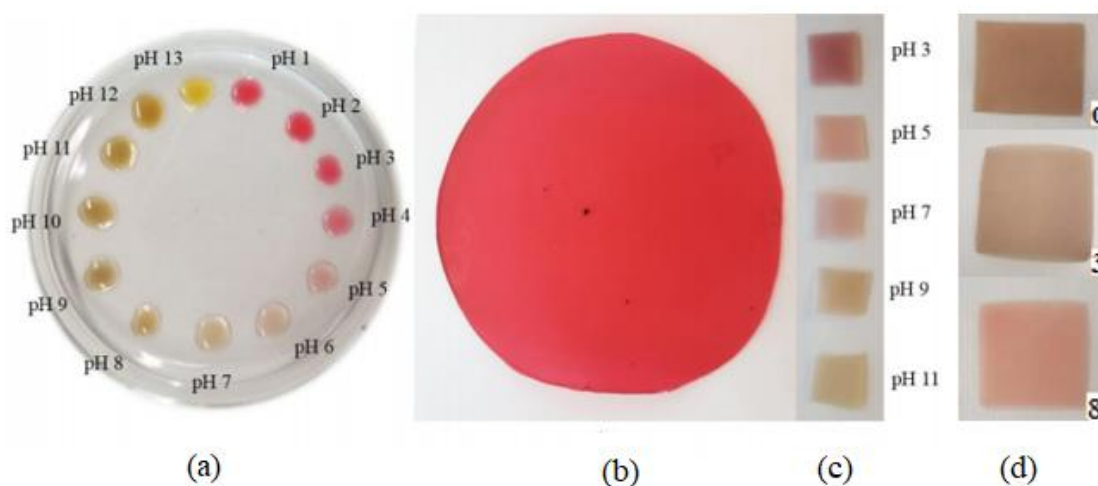
Figura 3.5 - A- Bioplásticos; B- Bioplásticos após degradação do filé de pescada à temperatura ambiente; C- Bioplástico sob refrigeração após 4 dias de teste.

3.6.2 JABUTICABA (*PLINIA CAULIFLORA*)

Tendo em vista o sucesso descrito em estudos anteriores utilizando antocianinas como indicadoras de deterioração de alimentos, Hoffmann et al. (2019) conduziu um estudo com o objetivo de avaliar o comportamento de antocianinas extraídas de cascas de jabuticaba e adicionadas na formulação de filme polimérico biodegradável em resposta a variações de pH. A variação da coloração do extrato de jabuticaba conforme alteração do pH pode ser verificada na Figura 3.6 (a), bem como a alteração da coloração do filme em

diferentes pH na seção (c). Inicialmente foi feita a extração e concentração de antocianina da fruta e, paralelamente, a elaboração dos filmes poliméricos utilizando farinha de mandioca, glicerol, água destilada e, em seguida, a adição do extrato de antocianina. O material foi colocado em estufa a 105°C até que a massa fosse constante, conforme o método *casting*. A coloração do filme após secagem pode ser vista na Figura 3.6 (b).

A aplicabilidade e eficiência do filme foi verificada em leite integral através da variação dos filmes a 25°C durante 8 dias. As amostras foram avaliadas nos dias 0, 3 e 8 do experimento através da avaliação da coloração do filme e do pH do meio conforme demonstrado na Figura 3.6 (d). Um espectrofotômetro de esfera foi utilizado para leitura dos parâmetros durante o estudo. No primeiro dia, o pH do leite se encontrava em 6,52 e o filme submerso nesta amostra apresentava coloração mais escura, quando comparado ao último dia, onde o pH registrado foi de 2,38., conforme observado na imagem.



Fonte: Hoffmann et al., 2019.

Figura 3.6 - Coloração do extrato de antocianina com a variação de pH (a); filme biodegradável desenvolvido com extrato de antocianina da casca de jabuticaba (b); coloração dos filmes submetidos a soluções com diferentes pH (c) e coloração dos filmes submetidos ao meio em deterioração nos dias 0, 3 e 8 (d).

O estudo conclui que a introdução do extrato de antocianinas de jabuticaba na formulação do filme biodegradável demonstrou aplicação favorável na elaboração de embalagem inteligente. A alteração da coloração do filme esteve em concordância com as mudanças no pH do alimento de forma a indicar ao consumidor a qualidade do alimento.

4 ALTERNATIVAS COMESTÍVEIS AOS PLÁSTICOS DE UTILIZAÇÃO ÚNICA

Algumas empresas e investigações foram além, desenvolveram alternativas biodegradáveis e comestíveis aos plásticos de utilização única sendo esses produtos o foco do presente trabalho.

4.1 SUBPRODUTOS DE ALGAS

Alguns subprodutos provenientes de algas como é o caso do agar-agar, carragenina e alginato também podem ser utilizados como matérias-primas dos produtos alternativos aos plásticos de utilização única.

4.1.1 LOLIWARE

A empresa Loliware foi fundada em março de 2015 pelas designers industriais Chelsea Briganti e Leigh Ann Tucker. Inicialmente, a empresa fabricava copos comestíveis que utilizavam subprodutos de algas como matéria-prima.

Os copos deixaram de ser produzidos em 2017, no e-commerce Amazon US é possível verificar que 73% dos consumidores avaliaram o produto como 1 (43%) ou 2 (30%) estrelas sendo que a avaliação máxima do website é de 5 estrelas. Dentre as reclamações, inúmeros consumidores relatam que o produto chegou às suas residências “derretido” ou “quebrado” e não recomendam a compra.

Devido à péssima experiência dos consumidores, a empresa tenta voltar para o mercado com palhinhas (figura 4.1) comestíveis. A mudança do foco da empresa foi anunciada nas redes sociais em 2018, entretanto, até o momento o novo produto não foi comercializado.



Fonte: Loliware

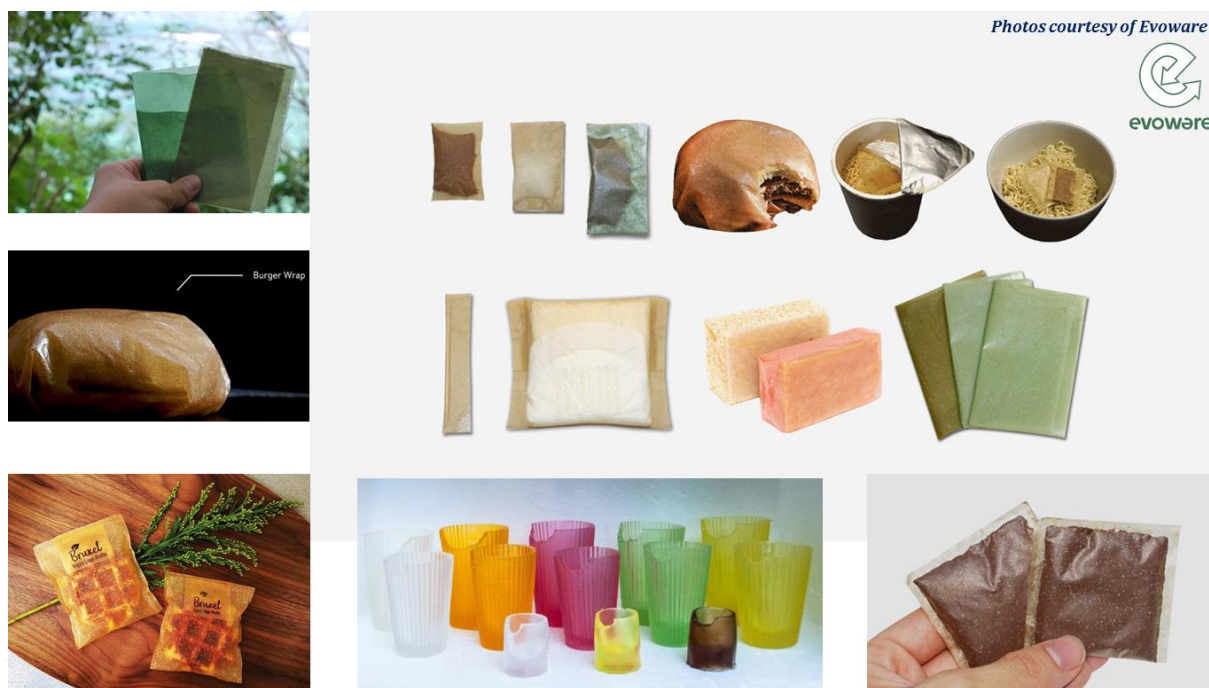
Figura 4.1 - Palhinhas divulgadas pela empresa LoliWare.

A patente do produto ainda se encontra pendente de aprovação, mas de acordo com o website da marca (www.loliware.com), o produto será feito a partir de agar-agar, adoçantes orgânicos e corantes naturais extraídos de frutas e legumes.

4.1.2 EVOWARE

A empresa sediada na Indonésia, comercializa copos, embalagens e sachês com temperos secos para *noodles* produzidos a partir de algas (Figura 4.2). O website da empresa (www.rethink-plastic.com) informa apenas que os produtos são produzidos a partir de algas, e não há patente disponível para consulta. Em uma entrevista ao website “*greenbiz.com*”, o cofundador da empresa, Edwin Aldrin Tan, afirmou que “O processo de transformação da alga é totalmente manual, envolvendo a preparação e secagem da matéria-prima e em seguir, a modelagem, prensagem e corte do material de camada única que atualmente tem uma vida útil de 2 anos sem conservantes e que é apropriado para alimentos secos (...). Não vou compartilhar outros detalhes sobre a formulação, exceto para dizer que nenhum produto sintético é adicionado ao processo”.

O Ello Jello, copo comestível, após aberto, poderá ser armazenado durante 7 dias em frigorífico ou 2 dias em temperatura ambiente. Está disponível em 4 sabores: lichia, laranja, chá verde e original. Entretanto, a empresa afirma que os sabores não são transmitidos para a bebida.



Fonte: Evoware.

Figura 4.2 - Produtos comercializados pela empresa Evoware.

4.1.3 NOTPLA

A Notpla é uma empresa sediada em Londres que atualmente comercializa “esferas” de água (Figura 4.3) e sachês de molhos. De acordo com o website da empresa (www.notpla.com), tudo começou na tentativa de diminuir o consumo de água engarrafada, 1,9 milhões de garrafas PET são usadas diariamente. O produto Ooho, água “esferificada”, ganhou o prêmio de design Lexus e desde então ganhou vários outros prêmios.

A equipa baseou-se em uma técnica gastronómica conhecida como esferificação. Essa metodologia foi patenteada pelo engenheiro da Unilever William Peschardt na década de 1940 e introduzida a culinária moderna pelo Chef espanhol Ferran Adrià. Utilizando essa ideia, a equipa desenvolveu o Ooho utilizando uma membrana dupla para conter a água, a água é misturada ao alginato de cálcio (E-401) e, em seguida, uma

quantidade de 50mL é despejada num recipiente contendo solução de cloreto de cálcio (E-509), ao entrar em contato com a solução ocorre a esferificação, uma parede de gel suficientemente sólida transparente envolve a água funcionando como uma embalagem.

A empresa vem aumentando seu leque de produtos que já conta com sachês de molhos feitos utilizando a mesma técnica.



Fonte: Notpla.

Figura 4.3 - Alternativa às garrafas plásticas Ooho.

4.1.4 ESTUDOS

4.1.4.1 FORMULAÇÃO DE PALHINHA COMESTÍVEL A PARTIR DE CARRAGENATO E GELATINA COMO SOLUÇÃO PARA O DESPERDÍCIO DE PLÁSTICOS

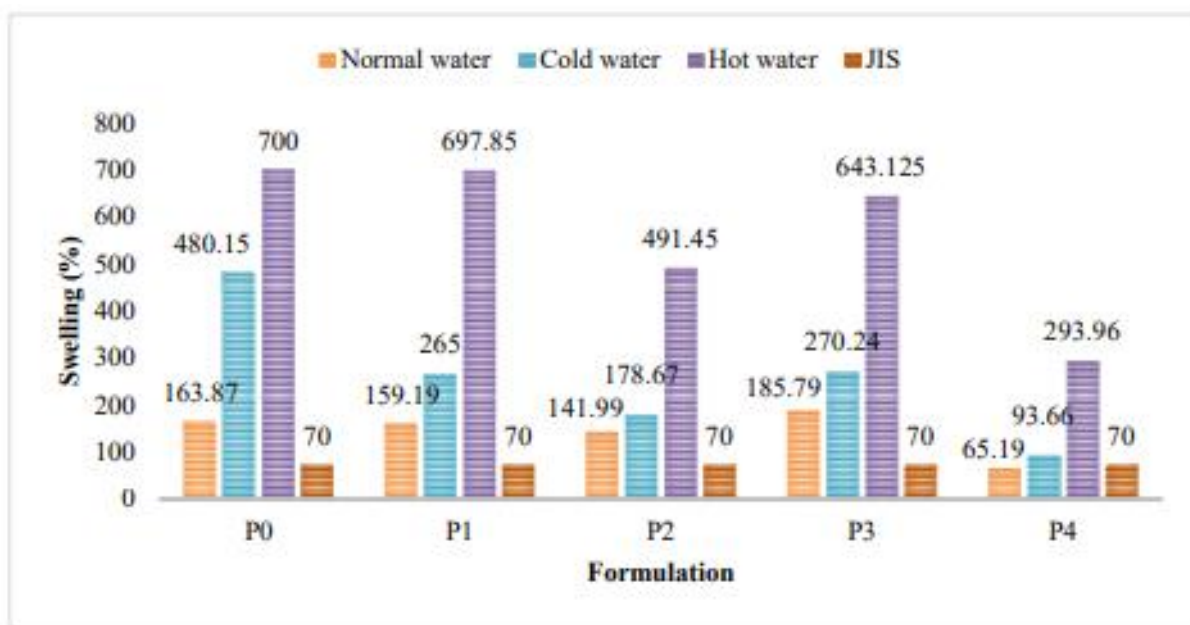
O carragenato, ou carragenina, refere-se aos polissacarídeos formadores de gel extraídos de algumas algas vermelhas da classe *Rhodophyceae*. A'yun et al. (2021) realizaram um estudo combinando diferentes quantidades de carragenina e gelatina com o objetivo de obterem palhinhas com características apropriadas para a utilização em

alternativa aos produtos tradicionais provenientes de plásticos de origem fóssil. Como ambas matérias-primas são hidrofílicas, o teste de absorção de água é o principal parâmetro para a ser testado neste tipo de produto.

O ensaio teve como objetivo verificar se a adição de gelatina ao carragenato apresentaria correlação na absorção de água durante o uso do produto em diferentes temperaturas (4, 25 e 80°C) e correlacionar com os valores aceitáveis de absorção para bioplásticos definidos pelo padrão industrial japonês (JIS).

Para preparar as palhinhas foram utilizados 3, 2,92, 2,85, 2,7 g de carragenato e 0,075, 015, 0,225 e 0,3g de gelatina. A mistura desses produtos com a adição de 100ml de água destilada em temperatura destilada foi feita com o auxílio de uma vareta de agitação por 15 minutos.

Os resultados deste ensaio podem ser vistos na figura 4.4, o parâmetro JIS serve para correlacionar os resultados obtidos com o padrão estipulado pela padronização japonesa.



Fonte: A'yun et al., 2021.

Figura 4.4 - Teste de absorção de água em diferentes temperaturas.

O estudo conclui que o produto que possui as melhores características em todos os cenários é o P4, que contém a menor concentração de carragenato e a maior concentração de gelatina. Esse resultado vai de encontro ao esperado, pois segundo os

autores, o carragenato tem mais grupos hidroxila e ésteres de sulfato e, portanto, tende a absorver mais água que a gelatina.

4.2 GELATINAS

4.2.1 SORBOS

A empresa espanhola Sorbos, foi pioneira no desenvolvimento de palhinhas comestíveis (Figura 4.5). Segundo o *website* da empresa (www.wearesorbos.com) Após 4 anos de pesquisas, chegaram ao mercado em 2016. A fórmula, desenvolvida por engenheiros alimentares em conjunto com a Universidade de Barcelona, contém gelatina, açúcar, amido de milho, estabilizador carboximetilcelulose e plastificante glicerol e está disponível em oito sabores: lima, gengibre, canela, morango, chocolate, maçã, limão e original (sem sabores adicionados).



Fonte: Sorbos.

Figura 4.5 - Palhinhas comestíveis.

Além de serem biodegradáveis e comestíveis, a empresa ainda afirma que os produtos são estáveis, em média, por 20 minutos em bebidas naturais e por 45 minutos em bebidas frias.

4.2.2 ESTUDO: BIOPLÁSTICOS DE GELATINA/ PROTEÍNA DO SORO DO LEITE COMBINADA COM FARINHA DE BATATA: FABRICAÇÃO E AVALIAÇÃO

Neste estudo, Omrani-Fard et al. (2020) utilizaram três fontes de proteína: o isolado de proteína do soro do leite industrializado adquirido em comércio local, gelatina bovina e gelatina extraída dos pés de frangos em laboratório. A farinha de batata utilizada no estudo foi preparada a partir de tubérculos da variedade *Agria* com malha inferior a 200 µm e o glicerol foi adquirida em comércio.

Foram avaliadas as propriedades funcionais de três diferentes formulações de bioplásticos:

- Gelatina bovina + farinha de batata = 20 wt% de gelatina bovina + 50 wt% de farinha de batata + 30 wt% de glicerol
- Gelatina de frango + farinha de batata = 20 wt% de gelatina de frango + 50 wt% de farinha de batata + 30 wt% de glicerol
- Proteína do soro do leite + farinha de batata = 20 wt% de proteína do soro do leite + 50 wt% de farinha de batata + 30 wt% de glicerol
 - Controle: 70 wt% farinha de batata + 30 wt% de glicerol

A mistura dos ingredientes foi feita em uma mini extrusora de rosca dupla cônica a 25°C e 50 r.p.m por 1 hora. Em seguida, a mistura foi moldada por compressão por 7 minutos em placa quente resultando em amostras de 185 mm x 30 mm x 3 mm. Antes de realizar os testes, as amostras foram colocadas em temperatura ambiente (25-18°C) durante 24 horas.

Foram feitas as seguintes análises neste ensaio: propriedades de tensão; térmica, mecânica e dinâmica (DMTA); termogravimétrica (TGA) e espectroscopia de infravermelho transformada de Fourier.

Concluiu-se que quando comparado ao bioplástico de controle, todas as amostras tiveram desempenho superior quanto a resistência à tração (pelo menos 2 vezes maior) e

alongamento até a ruptura (3 a 11 vezes superior). A adição de proteína (em especial as gelatinas) aumenta as propriedades de amortecimento no filme. A análise térmica mostrou que a estabilidade térmica foi semelhante ao da amostra controle, suportando até 200°C. Os bioplásticos obtidos têm temperaturas de transição vítrea mais baixa ao serem comparados com os bioplásticos de controle o que foi considerado como evidência de uma redução no consumo de energia no processo de formação de bioplástico. Portanto, conclui-se que as amostras formuladas possuem propriedades mecânicas e térmicas que podem ser aplicadas em embalagens na indústria alimentar. O estudo ressalta ainda a oportunidade de valorização dos resíduos e subprodutos da pecuária e avicultura.

4.3 CEREAIS

4.3.1 BIOTREM

A empresa polonesa Biotrem é pioneira na produção de pratos comestíveis, são produzidos pratos de diversos tamanhos, 28 cm, 24 cm e 20 cm de diâmetro. Também são produzidos *bowls* com 20 cm de diâmetro e taças ovais destinadas às sopas com 24x16cm. Conforme demonstra a Figura 4.6. De acordo com o *website* da empresa, os produtos são confeccionados com 100% de farelo de trigo, sem quaisquer aditivos e com reduzidas quantidades de água. É fabricado através de moldagem térmica com alta pressão. Esta loiça é totalmente biodegradável por meio de compostagem em apenas 30 dias, reduzindo a pegada de carbono, uma vez que 1kg de produtos de farelo de trigo geram no total cerca de 1,3 kg de CO₂, aproximadamente 7 vezes menos que a mesma quantidade de produtos de plástico descartável (Kuzincow, 2015). De acordo com a empresa, um prato pesa em média 100 g, correspondendo a valores entre 70 e 90 g de farelo de trigo.

Alves (2019) analisou a receptividade de consumidores em relação ao produto, foram testados os pratos como suporte para diferentes tipos de refeição (salada, sobremesa, comida pastosa, mole e sopa) todos os participantes afirmaram que notaram diferença na firmeza da taça após a adição da sopa, notaram também transferência de aroma e sabor durante enquanto estava a tomar sopa. Nos outros cenários, o produto foi aprovado com unanimidade, permaneceu com rigidez, não houve transferência nem de aroma nem de sabor. Em todas as hipóteses, não houve transferência de cor do produto

para o alimento. Neste estudo, os participantes não ingeriram o produto, portanto, não houve teste de aceitação do material enquanto alimento.



Fonte: BIOTREM.

Figura 4.6 - Produtos comestíveis comercializados pela empresa BIOTREM.

4.3.2 BAKEYS

A empresa Bakeys Edible Cutlery foi fundada na Índia em 2010. Até o momento são produzidas colheres, garfos e colheres para gelado conforme elucidado na figura 4.7. De acordo com um vídeo publicado pelo National Geographic em uma entrevista com o fundador da empresa Narayana Peesapaty, os produtos são produzidos a partir de farinha de sorgo, trigo e arroz e podem ou não ter adição de açúcar ou especiarias como gengibre com limão, gengibre e alho, aipo, pimenta preta, cominhos, menta e gengibre beterraba com cenoura. A empresa afirma que devido à grande concentração de sorgo, uma cultura com baixa exigência em irrigação, e dos processos envolvidos para obtenção do produto, pode-se produzir 100 colheres de sorgo com a energia necessária para produzir 1 utensílio plástico. Devido à baixa concentração de água por colher (menos de

2% do peso), os produtos mantêm sua corânica e *shelf-life* por até 2 anos. Em 2017, a empresa vendeu 1,5 milhão de colheres para empresas de catering (Liu, 2021).



Fonte: Webpackaging

Figura 4.7 - Produtos comercializados pela empresa Bakeys.

4.3.3 CUPFFEE

A empresa sediada na Bulgária, produz copos de café comestíveis desde 2018 (Figura 4.8). A empresa tem patente para a forma de moldar os copos, mas não para a formulação. O *website* deste empreendimento (www.cupffee.me), infelizmente, não informa as matérias-primas utilizadas para fabricar os produtos, apenas descreve que são feitos à base de cereais não-GMO, são veganos, não há adição de açúcar ou estabilizantes à formulação, mas que contém glúten. Além disso, algumas outras informações são disponibilizadas acerca da funcionalidade do artigo: não transferem sabor à bebida, são isotérmicos, ou seja, isolam a temperatura da bebida, permanecem estáveis por até 40 minutos após o contacto com a bebida e são resistentes a bebidas com até 85°C.



Fonte: Cupffee.

Figura 4.8 - Copo comestível Cupffee.

4.3.4 CANÙ

As palhinhas Canù foram desenvolvidas pela italiana Cooperativa Campo (Figura 4.9). A ideia consiste em utilizar a mesma formulação de massas para criar as palhinhas, portanto, os ingredientes utilizados na versão com glúten contém apenas sêmola de trigo grano duro orgânico e água e a versão glúten free é feita a partir de farinha de arroz e água.



Fonte: Canù.

Figura 4.9 - Palhinhas comestíveis Canù.

O *website* da empresa (www.canustraws.it), o produto é vegano, biodegradável, resistente durante até 1 hora em bebidas frias, além de não transferir sabor à bebida. O produto é feito, assim como as massas, pelo processo de extrusão e pode ser produzido em diversas cores, sempre a utilizar corantes naturais.

5 ADITIVOS ALIMENTARES UTILIZADOS PARA A FABRICAÇÃO DE ALTERNATIVAS AOS PLÁSTICOS DE UTILIZAÇÃO ÚNICA

Os aditivos alimentares são substâncias que não são consumidas habitualmente como géneros alimentícios em si mesmas, mas que são intencionalmente adicionadas aos géneros alimentícios para atingir determinado objetivo tecnológico descrito no presente regulamento, como, por exemplo, a conservação dos géneros alimentícios (Regulamento nº1333, 2008).

5.1 GLICEROL

Alguns filmes são pouco flexíveis e quebradiços, sendo necessária a adição de ativos às matrizes poliméricas. O uso de plastificantes em filmes rígidos, têm mostrado resultados satisfatórios na solução deste problema (Shimazu et. al., 2007). A União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, sigla em inglês), “plastificantes são substâncias incorporadas a plásticos ou elastómeros com a finalidade de aumentar sua flexibilidade, processabilidade ou capacidade de alongamento”. Segundo Forini (2008), um plastificante pode reduzir a viscosidade do fundido, abaixar sua temperatura de transição vítrea e diminuir seu módulo de elasticidade. Os plastificantes mais utilizados em filmes são os polióis, como glicerol e sorbitol. Os plastificantes atuam na diminuição das forças de Van der Waals que atuam entre as cadeias poliméricas diminuindo a atração intermolecular e, assim, aumentando a flexibilidade da cadeia polimérica.

5.2 ALGINATO DE SÓDIO (E-401), ÁGAR-ÁGAR (E-406), CARRAGENINA (E-407) E CARBOXIMETILCELULOSE (E-466)

Segundo a ASAE, o Alginato de sódio (E-401) é um polissacárido hidrofílico de natureza coloidal produzido por certas algas castanhas (p. ex., *Laminaria digitata* e *Macrocystis pyrifera*) é utilizado como agente emulsionante, estabilizante, gelificante e espessante.

A ASAE define o Ágar-ágar (E-406) como um polissacárido portador de grupos sulfato, produzido por algas vermelhas (p. ex., dos géneros *Gelidium*, *Gracilaria* e *Ceramium*), é utilizado como espessante, estabilizador e gelificante; em pequenas doses não tem efeitos adversos, mas em maiores quantidades pode originar flatulência e ser laxativo.

Também de acordo com a ASAE, a carragenina (E-407) é uma mistura complexa de polissacáridos portadores de grupos sulfato na forma de sais de cálcio e magnésio, produzida por algas vermelhas (p. ex., *Chondrus crispus* e *Gigartina stellata*), é utilizada como emulsionante, espessante e gelificante; tem sido referida como causadora de colite ulcerosa e, quando degradada no intestino, podendo ter ação carcinogénica.

Já a carboximetilcelulose (E-466), segundo a ASAE é obtida a partir da celulose e é utilizada como espessante, estabilizador, gelificante, modificador de textura e não tem efeitos adversos.

Segundo a legislação vigente, o Regulamento (CE) N.º 1333/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro:

- Emulsionantes são substâncias que tornam possível a formação ou a manutenção de uma mistura homogénea de duas ou mais fases imiscíveis, como óleo e água, nos géneros alimentícios.
- Estabilizantes são substâncias que tornam possível a manutenção do estado físico-químico dos géneros alimentícios. Os estabilizadores incluem as substâncias que permitem a manutenção de uma dispersão homogénea de duas ou mais substâncias imiscíveis nos géneros alimentícios, as substâncias que estabilizam, retêm ou intensificam a cor natural dos géneros alimentícios e as substâncias que aumentam a capacidade de aglomeração do género alimentício, incluindo a formação de ligações cruzadas entre proteínas que permitem a aglomeração dos elementos alimentares para a formação de um género alimentício reconstituído.
- Espessantes são substâncias que aumentam a viscosidade dos géneros alimentícios.
- Gelificantes são substâncias que dão textura aos géneros alimentícios através da formação de um gel.

5.3 CLORETO DE CÁLCIO

O cloreto de cálcio (CaCl_2), E-509, é classificado como agente sequestrante. Também de acordo com o Regulamento vigente, sequestrantes são substâncias que formam complexos químicos metálicos.

No processo de esferificação, quando a solução de alginato de sódio é misturada com a solução aquosa de cloreto de cálcio, os íons sódio são substituídos pelos íons cálcio. Por cada íon de cálcio que entra para se ligar às cadeias de alginato saem dois íons de sódio. Esta troca de íons tem como consequência a formação de cadeias que antes estavam individualizadas e passaram a estar associadas duas a duas, entre si, por um íon cálcio (Waldman, 1998).

5.4 CORANTES

Ainda de acordo com a legislação em vigor, o Regulamento (CE) N.º 1333/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro, corantes são substâncias que conferem ou restituem cor a um género alimentício; incluem componentes naturais de géneros alimentícios e substâncias naturais, que normalmente não são consumidos como géneros alimentícios em si mesmos nem utilizados como ingredientes característicos dos géneros alimentícios. São consideradas corantes as preparações obtidas a partir de géneros alimentícios ou de outros materiais de base naturais comestíveis obtidas por extração física e/ou química de modo a provocar a extração seletiva dos pigmentos em relação aos componentes nutritivos ou aromáticos.

5.4.1 ANTOCIANINA

Algumas plantas, flores e frutos são capazes de apresentar diferentes cores em meios ácidos ou básicos devido à presença de algumas substâncias químicas em sua composição natural. O grupo de substâncias naturais presente nelas e que apresenta essas características são denominadas antocianinas (Marques et al., 2011).

As antocianinas (do grego anthos, flor, kyanos, azul-escuro) são o maior e mais importante grupo de pigmentos naturais solúveis em água (Cavalcanti et al, 2011). As antocianinas são quimicamente compostos fenólicos, pertencentes à família dos

flavonóides, responsáveis pelas cores das pétalas de flores e de frutos de uma grande variedade de plantas (Bleve et all, 2008).

A característica marcante das antocianinas está ligada ao fato das soluções aquosas desses extratos serem indicadores naturais de pH por apresentarem variação estrutural e mudança na função conforme as alterações de pH do meio, elas absorvem fortemente luz na região visível do espectro, evidenciando uma gama de cores (Brouillard, 1982).

6 CONCLUSÕES

Nos últimos anos diversas leis, Diretivas, incentivos e estudos estão sendo produzidos na tentativa de diminuir a produção e consumo de produtos plásticos no mundo. Esse estudo teve por objetivo a elaboração de um panorama da situação mundial, tanto quanto ao que vem sendo estudado quanto ao que já está sendo comercializado. Entretanto, são necessários mais estudos neste ramo para aprimorar e desenvolver produtos miméticos e de custo acessível aos plásticos de utilização única provenientes de fontes não-renováveis bem como estudos para analisar a aceitação destes artigos por parte dos consumidores.

7 BIBLIOGRAFIA

ABEEGO 2021, *The Reusable Beeswax Food Wrap that Breathes*. Disponível em: <https://abeego.com>, [Consult. 16 Jun. 2021]

ABEEGO 2021, *Lista de ingredientes*. Disponível em: <https://abeego.com/products/medium-beeswax-food-wrap>, [Consult. 18 Jun. 2021]

ALVES, S. M. S. 2019, `Avaliação da aplicabilidade de loiça comestível e compostável em Alimentação`, Trabalho de Investigação, Faculdade de ciências da nutrição e Alimentação da Universidade do Porto, Porto, Portugal

APA 2018, *Estratégia Europeia sobre Plásticos*. Disponível em: <https://enea.apambiente.pt/content/estrat%C3%A9gia-europeia-sobre-pl%C3%A1sticos?language=pt-pt>, [Consult. 12 Jun. 2021]

AURAS, R.; LIM, L., T. ; SELKE, S., E., M.; TSUJI, H. 2010. *POLY(LACTIC ACID) - Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications*. Editora Wiley

AVÉROUS, L. 2004. Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: A review. *Journal of Macromolecular Science-Polymer*, vol. 24, p. 231-274

AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F.; AZEREDO, A. M. C. 2000. Embalagens ativas para alimentos. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*, vol. 20, p. 337-341

A`YUN, S. N.; TRIASTUTI, J.; SAPUTRA, E. 2021. Edible Straw Formulation From Caragenant and Gelatin as a Solution in Reducing Plastic Waste. *The 3rd International Conference on Fisheries and Marine Sciences*

BAYER, C.; GOMES, J.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; DIECKOW, J. 2016. Mitigating greenhouse gas emissions from a subtropical Ultisol by using long-term no-

tillage in combination with legume cover crops. *Soil and Tillage Research*, vol. 161, p. 86-94

BEECONSCIOUS CO., Ltd. 2020. *Superbee Beeswax Wraps*. Disponível em <https://superbee.me>, [Consult. 17 Jun. 2021]

BEGINI, M. L.; SANTOS, N. R.; TOLEDO, A. L. O.; OLIVEIRA, G. N. R.; SILVA, L. T. G. 2019. Obtenção de bioplástico com antocianina reforçado com nanocelulose extraída da fibra da banana. *Brazilian Journal of Development*, vol. 5, p.28405-28415

BLEVE, M. ; CIURLIA, L. ; ERROI, E. ; LIONETTO, G.; LONGO, L.; RESCIO, L.; SCHETTINO, T.; VASAPOLLO, G. 2008. An innovative method for the purification of anthocyanins from grape skin extracts by using liquid and sub-critical carbon dioxide. *Separation and Purification Technology*, vol. 64, p. 192-197

BROUILLARD, R. 1982. *Chemical structure of anthocyanins*, New York, AcademicPress

BUGNICOURT, E. ; CINELLI, P. ; LAZZERI, A. ; ALVAREZ, V. 2014. . Polyhydroxyalkanoate (PHA): Review of Synthesis, Characteristics, Processing and Potential Applications in Packaging. *Express Polymer Letters*, vol. 8, p. 791–808

CANEVAROLO, S. V. 2006. *Ciência dos Polímeros*, São Paulo, Editora Artliber

CARVALHO, D. M.; TAKEUCHI, K. P.; GERALDINE, R. M.; MOURA, C. J.; SILVEIRA, M. F. A. 2017. Filme ativo de acetato de celulose incorporado com nanosuspensão de curcumina. *Revista Polímeros*. Disponível em <https://www.scielo.br/j/po/a/XD7TqxVgjVjVvBbzWsCSHXS/?lang=pt> [Consult. 16 de Jun. 2021]

CARVALHO, D. G.; NETO, J. A. B. 2016. Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. *Ocean & Coastal Management*, vol. 128, p. 10–17

CAVALCANTI, R. N.; SANTOS, D. T.; MEIRELES, M. A. A. 2011. Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems - An overview. *Food Research International*, vol. 44, p. 499-509

CHANPRATEEP, S. 2010. Current Trends in Biodegradable Polyhydroxyalkanoates. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol. 110, p. 621–632

CHEN, G. Q.; WU, Q. 2005. The application of polyhydroxyalkanoates as tissue engineering material. *Biomaterials*, vol. 26, p. 6565-6578

CIEL 2019, *Plastic & Climate : The Hidden Costs of a Plastic Planet*. Disponível em: <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/05/Plastic-and-Climate-Executive-Summary-2019.pdf>, [Consult. 12 Jun. 2021]

COSTA, J.P. 2018. Micro- and nanoplastics in the environment: Research and policymaking. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, vol. 1, p. 12-16

COX, K. D.; COVERNTON, G. A. ; DAVIES, H. L. ; DOWER, J. F. ; JUANES, F. ; DUDAS, S. E. 2019. Human Consumption of Microplastics. *Environ. Sci. Technol*, vol. 53, p. 7068–7074

CRESPY, D. ; BOZONNET, M. ; MEIER, M. 2008. ‘100 Years of Bakelite, the Material of a 1000 Uses’, *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 47, p. 3322–3328

DALY, H. E. 2004. Crescimento sustentável? Não, obrigado. *Ambiente & Sociedade*, vol. 7, p. 197-202

DEBEAUFORT, F.; GALIC, K.; KUREK, M. BENBETTAIEB, N. ; SCCETAR, M. 2021. *Packaging materials and processing for food, pharmaceuticals and cosmetics*, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.

DOBRUCKA, R. 2014. The use of oxygen indicators - elements of intelligent packaging for monitoring of food quality. *LogForum*, vol. 10, p. 183-190

DORNBURG, V.; HERMANN, B. G. ; PATEL, M. K. 2008. Scenario Projects for Future Market Potentials of Biobased Bulk Chemicals. *Environmental Science and Technology*, vol. 42, p. 2261-2267

EFSA 2018, *European food safety authority*. Disponível em: <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/food-contact-materials>, [Consult. 20 Jun. 2021]

EUROPEAN BIOPLASTICS 2020, *Bioplastic materials*. Disponível em: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/>, [Consult. 22 Jun. 2021]

EVOWARE 2017, *This edible packaging will make you reconsider seaweed*. Disponível em: <https://www.greenbiz.com/article/edible-packaging-will-make-you-reconsider-seaweed>, [Consult. 21 Jun. 2021]

FANG, Z. ; ZHAO, Y. ; WARNER, R. D. ; JOHNSON, S. K. 2017. Active and intelligent packaging in meat industry. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 61, p. 6160-71

FONSECA, M. J. O. 2009, *Seleção, Classificação e Embalagens para frutas e hortaliças*. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/737047/1/pub198.pdf>, [Consult. 16 Jun. 2021]

FORINI, S. H. 2008. 'Estudo da dispersão e incorporação de argilas esmectíticas em plastisol', Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Brasil

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. 2006. Polímeros Biodegradáveis - Uma Solução Parcial para Diminuir a Quantidade dos Resíduos Plásticos. *Química Nova*, vol. 29, p. 811–816

FFREEMANTLE, M. 2005. Green polymer field blossoming. *Chemical & Engineering News*, vol. 83, p. 36–39

GARLOTTA, D. A. 2001. Literature review of poly (lactic acid). *Journal of Polymers and the Environment*, vol.9, p. 63-84

GEUEKE, B. ; WAGNER, C. C. ; MUNCKE, J. 2014. Food contact substances and chemicals of concern: A comparison of inventories. *Food Additives & Contaminants: Part A*, vol. 31, p. 1438–1450

GIRONI, F.; PIEMONTE, V. 2011. Bioplastics and petroleum-based plastics: Strengths and weaknesses. *Energy Sources A Recover*, vol. 33, p. 1949–1959

GHOLAMI, A. 2016. Industrial Production of Polyhydroxyalkanoates by Bacteria: Opportunities and Challenges. *Minerva Biotecnologia*, vol. 28, p. 59–74

GRAHAM, S.; GRAHAM, B.; HOLT, D. 2018. The relationship between downstream environmental logistics practices and performance. *International Journal of Production Economics*, vol. 196, p. 356-365

GUTIERREZ, J. N.; ROYALS, A. W. ; JAMEEL, H. ; VENDITTI, R. A. ; PAL, L. 2019. Evaluation of paper straws versus plastic straws : development of a methodology for testing and undertesting challenges for paper straws. *BioResources* , vol. 14, p. 8345-8363

HERMANN, B.,G. ; DEBEER, L. ; DE WILDE, B. ; BLOK, K. ; PATEL, M.K. 2011. To compost or not to compost: Carbon and energy footprints of biodegradable materials' waste treatment. *Polymer Degradation and Stability* vol. 96, p. 1159-1171

HOFFMANN, T. G.; AMARAL, D.P.; OLIVEIRA, J.T.; ANGIOLETTI, B. L.; BARBIERI, M. R.; CARVALHO, L. F.; BERTOLI, S. L. ; SOUZA, C. K. 2019. `Embalagem inteligente à base de jabuticaba com potencial aplicação em alimentos lácteos`. Comunicação apresentada ao 15º Congresso Brasileiro de Polímeros (15 CBPOL), Bento Gonçalves, 27-31 Outubro

ILES, A.; MARTIN, A. N. 2013. Expanding bioplastics production: sustainable business innovation in the chemical industry, *Journal of Cleaner Production*, vol. 45, p. 38-49

JACQUEL, N.; FREYERMOUTH, F.; FENOUILLOT, F.; ROUSSEAU, A.; PASCAULT, J.P.; FUERTES, P.; SAINT-LOUP, R. 2011. Synthesis and properties of poly(butylene succinate): Efficiency of different transesterification catalysts. *Journal of Polymer Science*, vol. 49, p. 5301–5312

JENDROSSEK, D. 2007. Peculiarities of PHA granules preparation and PHA depolymerase activity determination. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 74, p. 1186- 1196

JL, J. ; ZHANG, Z. ; YANG, L., 2017. Carbon emission reduction decisions in the retail- / dual-channel supply chain with consumers' preference. *Journal of Cleaner Production*, vol. 141, p. 852-867

KERRY, J. P. ; O'GRADY, M. N. ; HOGAN, S. A. 2006. Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*, vol. 74, p. 113-130.

KUZINCOW, J. 2015 . By-products as a raw material sources – Polish wheat bran packaging biotrem. *Journal of Material Sciences & Engineering*, vol. 4, p. 63-77

LIAO, Z.L. ; ZHU, X.L. ; SHI, J.R. 2015. Case study on initial allocation of Shanghai carbon emission trading based on Shapley value. *Journal of Cleaner Production*, vol. 103, p. 338-344

LIU, L. 2021. *An Introduction to Circular Economy*, Switzerland, Editora Springer

MACARTHUR, E. 2016. More plastic than fish in the sea by 2050. *The Guardian*. Disponível em: <https://www.theguardian.com/business/2016/jan/19/more-plastic-than-fish-in-the-sea-by-2050-warns-ellen-macarthur>, [Consult. 20 Jun. 2021]

MARQUES, J. A.; BIAZOTO, K.; BIASI, L. H.; DOMINGUINI, L. 2011. Estudo do comportamento de antocianinas como indicadores naturais. *Revista Técnico Científica do IFSC*, vol. 3, p. 42-45

MARSH, K.; BUGUSU, B. 2007. Food Packaging - Roles, Materials, and Environmental Issues. *Journal of Food Science*, vol. 72, p. 39-55

MATTSSON, K. ; HANSSON, L. A. ; CEDERVALL, T. 2015. Nano-plastics in the aquatic environment. *Environmental Science: Process and Impacts*, vol. 17, p. 1-17

MELO, P. T. S.; AOUADA, F. A.; MOURA, M. R. 2017. Fabricação de filmes bionanocompósitos à base de pectina e polpa de cacau com potencial uso como embalagem para alimentos. *Química Nova*, v. 40, p. 42-49

MILLER, G. T.; SPOOLMAN, S. E. 2012. Ecologia e Sustentabilidade, São Paulo, Editora Cengage Learning

MORES, G. V. 2013, 'Inovação e sustentabilidade na cadeia produtiva do plástico verde', Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Estudos em Agronegócio, Porto Alegre, RS, Brasil

MUHAMMAD, A.; RASHIDI, A. R.; ROSLAN, A. ; IDRIS, S. A. 2017, 'Development of Bio Based Plastic Materials for Packaging from Soybeans Waste', comunicação apresentado ao 3rd Electronic and Green Materials International Conference 2017 (EGM 2017)

MUMTAZ, U.; ALI, Y.; PETRILLO, A. 2018. A linear regression approach to evaluate the green supply chain management impact on industrial organizational performance. *Science of The Total Environment*, vol. 624, p. 162-169

NASA NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION 2017, *Evidences, Climate change: How do we know?*. Disponível em: climate.nasa.gov/evidence/2017. <https://climate.nasa.gov/> [Consult. 14 Jun. 2021]

OHKITA, T.; LEE, S. H. 2006. Thermal Degradation and Biodegradability of Poly (lactic acid)/Corn Starch Biocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 100, p.3009–3017

OMRANI-FARD, H.; ABBASPOUR-FARD, M. H.; KHOJASTEHPOUR, M. ; DASHTI, A. 2020. Gelatin/Whey Protein – Potato Flour Bioplastics: Fabrication and Evaluation. *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 28, p. 2029-2038

OZDEMIR, M.; FLOROS, J. D. 2004. Active Food Packaging Technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 44, p. 185-193

PACMAN 2013. *Embalamento ativo e inteligente: Inovações para o futuro*. Disponível em: <http://docplayer.com.br/69792859-Embalamento-ativo-e-inteligente-inovacoes-para-o-futuro.html>, [Consult. 10 Jun. 2021]

PARLAMENTO EUROPEU 2018. *Microplásticos: origens, efeitos e soluções*. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20181116STO19217/microplasticos-origens-efeitos-e-solucoes>, [Consult. 16 Jun. 2021]

PEREIRA, A. C.; SILVA, G. Z.; CARBONARI, M. E. E. 2011. *Sustentabilidade, responsabilidade social e meio ambiente*. São Paulo, Editora Saraiva

PINTO, C. T. ; PANKOWSKI, J. A.; NANO, F. E. 2017. The anti-microbial Effect of food wrap cpmtaining beewax products. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, vol. 7, p. 145-148

PIRES, J.; PAULA, C.D.d.; SOUZA, V.G.L.; FERNANDO, A.L.; COELHO, I.M. 2021. Understanding the Barrier and Mechanical Behavior of Different Nanofillers in Chitosan Films for Food Packaging. *Polymers*, vol. 13, 721

PIRES, J.R.A.; SOUZA, V.L.; FERNANDO, A.L. 2019. Valorization of energy crops as a source for nanocellulose production—Current knowledge and future prospects, *Industrial crops and products*, vol. 140, 111642

PLASTICSEUROPE 2018, *Plastics-The Facts 2018*. Disponível em: https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf [Consult. 03 Jun. 2021]

PLASTICSEUROPE 2019, *Plastics – The facts 2019: An analysis of European plastics production, demand, and waste data*. Disponível em: https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf [Consult. 04 Jun. 2021]

PLASTICSEUROPE 2020, *Plastics-The Facts 2020*. Disponível em: https://www.plasticseurope.org/application/files/8016/1125/2189/AF_Plastics_the_facts-WEB-2020-ING_FINAL.pdf [Consult. 03 Jun. 2021]

PLVB 2018, *Programa de Logística Verde Brasil: manual de aplicação*, São Paulo, Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS)

PNUMA 2011, *Rumo a uma Economia verde Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável e a Erradicação da Pobreza*. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/rumo-uma-economia-verde-caminhos-para-o-desenvolvimento-sustentavel-e-erradicacao>, [Consult. 20 Jun. 2021]

PNUMA 2015, *International Trade in Resources: A Biophysical Assessment: Report of the International Resource Panel*. Disponível em : https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/-international_trade_in_resources_full_report_english_0.pdf, [Consult. 06 Jun. 2021]

POLKINGHORNE, R. J.; PHILPOTT, J.; PEROVIC, J.; LAU, J.; DAVIES, L.; MUDANNAYAKE, W.; THOMPSON, J. M. 2018. The effect of packaging on consumer eating quality of beef. *Meat Science*, vol. 142, p.59-64

QUEIROZ, A. U. B.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. 2009. Innovation and Industrial Trends in Bioplastics. *Polymer Reviews*, vol. 49, p. 65-78

REBELLO, F. 2009. Novas tecnologias aplicadas às embalagens de alimentos. *Revista Agrogeoambiental*, vol. 1, p. 225-241

RITCHIE, H.; ROSER, M. 2017, *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. Our world in data, May. Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gasemissions#global-warming-to-date>, [Consult. 18 Jun. 2021]

ROBERTSON, G. L. 2012. *Food Packing: Principles and Practice (Third Ed)*, Boca Raton, Editora CRC Press

ROYER, S. J.; FERRO, S.; WILSON, S.T.; KARL, D.M. 2018. Production of methane and ethylene from plastic in the environment. *PLoS ONE*, vol. 13, p. 37-43

SAEIDLOU, S.; HUNEULT, M. A.; Li, H.; PARK, C. B. 2012. Poly(lactic acid) crystallization. *Progress in Polymer Science*, vol. 37, p. 1657-1677

SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. 2007. Efeito plastificante e antiplastificante do glycerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. *Ciências Agrárias*, vol. 28, p. 79-88

SILVA, S. M. A.; DE PAOLI M. A. 2005. A tecnologia da reciclagem de polímeros. *Química Nova*, vol. 28, p. 65–72

SILVA, D. G.; LEITE, V. C. 2010. A importância da embalagem como vantagem logística: um estudo de caso. *Tekhne e Logos*, vol. 1, p. 113-129

SOUZA, V.G.L.; FERNANDO, A.L. 2016. Nanoparticles in food packaging: Biodegradability and potential migration to food—A review, *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 8, p. 63-70

SOUZA, V.G.L.; FERNANDO, A.L.; PIRES, J.R.A.; RODRIGUES, P.F.; LOPES, A.A.S.; BRAZ-FERNANDES, F.M. 2017. Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants, *Industrial Crops and Products*, vol. 107, p. 565-572

SOUZA, V.G.L.; PIRES, J.R.A.; RODRIGUES, C.; COELHO, I. M.; FERNANDO, A.L. 2020a. Novel Approaches for Chitin/Chitosan Composites in the Packaging Industry. In: Jacob, J., Loganathan, S., Thomas, S., (eds.) *Chitin- and Chitosan-Based Biocomposites for Food Packaging Applications*, Boca Raton, CRC Press, Taylor & Francis Group, p. 87–95

SOUZA, V.G.L.; PIRES, J.R.A.; RODRIGUES, C.; COELHO, I.M.; FERNANDO, A.L. 2020b. Chitosan composites in packaging industry-current trends and future challenges, *Polymers*, vol. 12, no. 2, 417

SOUZA, V.G.L.; PIRES, J.R.A.; RODRIGUES, C.; RODRIGUES, P.F.; LOPES, A.; SILVA, R.J. CALDEIRA, J.; DUARTE, M.P.; FERNANDES, F.B.; COELHO, I.M.; FERNANDO, A.L. 2019a. Physical and Morphological Characterization of Chitosan/Montmorillonite Films Incorporated with Ginger Essential Oil, *Coatings*, vol. 9 no. 11, 700

SOUZA, V.G.L.; RODRIGUES, C.; FERREIRA, L.; PIRES, J.R.A.; DUARTE, M.P.; COELHO, I.; FERNANDO, A.L. 2019b. In vitro bioactivity of novel chitosan bionanocomposites incorporated with different essential oils, *Industrial crops and products*, vol. 140, 111563

SOUZA, V.G.L.; PIRES, J.R.A.; RODRIGUES, P.F.; LOPES, A.A.S.; BRAZ-FERNANDES, F.M.; DUARTE, M.P.; COELHO, I.M.; FERNANDO, A.L. 2018a.

Bionanocomposites of chitosan/montmorillonite incorporated with Rosmarinus officinalis essential oil: Development and physical characterization, *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 16, p. 148-156

SOUZA, V.G.L.; RIBEIRO-SANTOS, R.; RODRIGUES, P.F.; OTONI, C.G., DUARTE, M.P.; COELHO, I.M.; FERNANDO A.L. 2018b. Nanomaterial Migration from Composites into Food Matrices. In: Cirillo, G., Kozłowski, M.A., Spizzirri, U.G. (eds.) *Composites Materials for Food Packaging*, Scrivener Publishing LLC, Wiley, p. 401–436

SUN, L.; CAO X.; ALTHARTHI, M.; ZHANG, J.; TAGHIZADEH-HESARY, F.; MOHSI M. 2020. Carbon emission transfer strategies in supply chain with lag time of emission reduction technologies and low-carbon preference of consumers, *Journal of Cleaner Production*, vol. 264, p. 16-32

TELLES, J. J.S. 2020, `Sustentabilidade e economia circular: o desafio do plástico`, Dissertação de mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

TESTER, F. R.; KARKALAS, J. 2001. The effects of environmental conditions on the structural features and physico-chemical properties of starches. *Starke : internationale zeitschrift fur die erforschung, verarbeitung und verwendung von kohlenhydraten und deren derivaten = Starch. International Journal for the Investigation, Processing and User of Carbohydrates and Their Derivatives*, vol. 53, p. 513-519

TERTYSHNAYA, Y. V. ; PODZOROVA, M. V. ; MONAKHOVA, T. V.; POPOV, A. A. 2019. Thermal Oxidation and Structure of Polylactide – Polyethylene Blends. *Russian Journal of Physical Chemistry*, vol. 10, p. 825– 829

TOKIWA, Y.; CALABIA, B. P. 2006. Biodegradability and biodegradation of poly(lactide). *Applied microbiology and biotechnology*, vol.72, p. 44–51

UNITED NATIONS & INTERNATIONAL RESOURCE PANEL 2011. *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*. Disponível

em :

<https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=151&menu=1515>, [Consult. 06 Jun. 2021]

VALDEJÃO, R. G.; JANSON, J. A. 1996. Propriedades dos amidos e suas aplicações básicas na indústria papeleira. *O Papel*, vol. 11, p. 351-358

VEIGA, J. M.; FLEET, D.; KINSEY, S.; NILSSON, P.; VLACHOGIANNI, T. 2016, *Identifying sources of marine litter*. Disponível em : https://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/MSFD_identifying_sources_of_marine_litter.pdf, [Consult. 10 Jun. 2021]

VINK, E. T. H. ; DAVIES, S. ; KOLSTAD J. J. 2010. The eco-profile for current Ingeo® polylactídeo production. *Industrial Biotechnology*, vol. 6, p. 212-224

WALDMAN, A. S. ; SCHECHINGER, L. ; GOVINDAJAROO, G. ; NOWICK, J. S. ; PIGNOLET, L. H. 1998. The Alginate Demonstration: Polymers, Food Science, and Ion Exchange. *Journal of Chemical Education*, vol. 75, p. 1430-1431

WORLD BANK 2017. *Annual Report 2017*. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/143021506909711004/pdf/119779-BR-REPLACE-ON-FRINDAY-OUO-9-SecM2017-0254-1-World-Bank-Annual-Report-2017-Rev-09292017.pdf>, [Consult. 11 Jun. 2021]

WWF. *Queremos zero plástico na natureza*. Disponível em: https://www.natureza-portugal.org/o_que_fazemos_222/oceanos/plasticos/, [Consult. 10 Jun. 2021]

YU, J.; CHEN, L. X. L. 2008. The greenhouse gas emissions and fossil energy requirement of bioplastics from cradle to gate of a biomass refinery. *Environmental Science & Technology*, vol. 42, p. 6961–6966

8 JURISPRUDÊNCIA

Decreto-lei nº 22-A/2021 de 17 de março de 2021. Disponível online em: <https://dre.pt/home/-/dre/159707135/details/maximized> [Consult. 03 Jun 2021].

Decreto-Lei nº 76/2019 de 02 de setembro de 2019. Disponível online em: <https://dre.pt/home/-/dre/124346827/details/maximized> [Consult. 2 Jun 2021].

Diretiva UE 904/2019 do Parlamento Europeu e do conselho 5 de junho. Disponível online em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32019L0904> [Consult. 2 Jun 2021].

Regulamento (CE) Nº1333/2008 do Parlamento Europeu e do conselho de 16 de dezembro de 2008. Disponível online em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32008R1333> [Consult. 20 Jun 2021].

Regulamento (CE) Nº1169/2011 do Parlamento Europeu e do conselho de 25 de outubro de 2011. Disponível online em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:304:0018:0063:PT:PDF> [Consult. 21 Jun 2021].